

Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava

Fakulta elektrotechniky a informatiky

Katedra elektroniky

Elektronika



Analýza a syntéza regulace otopné soustavy

Analysis and Synthesis of Control Heating System

2013/2014

Bc. Jan Zydroň

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra elektroniky

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Jan Zydroň**
Studijní program: N2649 Elektrotechnika
Studijní obor: 2612T015 Elektronika
Téma: **Analýza a syntéza regulace otopné soustavy**
Analysis and Synthesis of Control Heating System

Zásady pro vypracování:

1. Popis otopné soustavy a možností její regulace
2. Analýza otopné soustavy
3. Syntéza regulátoru pro otopnou soustavu
4. Ověření vlastností regulace otopné soustavy

Seznam doporučené odborné literatury:

Podle pokynů vedoucího diplomové práce

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


Vedoucí diplomové práce: **doc. Ing. Ivo Neborák, CSc.**

Datum zadání: 01.09.2013

Datum odevzdání: 07.05.2014


doc. Ing. Petr Palacký, Ph.D.
vedoucí katedry




prof. RNDr. Václav Snášel, CSc.
děkan fakulty

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem svou diplomovou práci vypracoval samostatně a použil pouze podklady uvedené v seznamu použité literatury.

V Havířově dne 7.5.2014



.....
podpis

Abstrakt

Tato práce se zabývá analýzou otopné soustavy, je zde uveden postup pro získání přechodové charakteristiky otopné soustavy, výpočet parametrů soustavy. Dále jsou zde uvedeny možnosti regulace otopné soustavy. Analýza je vysvětlena na řídicím systému společnosti Amit spol. s r.o. Amap99S.

Klíčová slova:

otopná soustava, přechodová charakteristika, řídicí systém, parametry, regulace, zesílení, integrace

The Abstrakt

Thesis, dissertation paper analyzes the heating system, there are steps for obtaining the transient response of the heating system, the calculation of system parameters. Next, there are options to regulate the heating system. The analysis is explained by the control system of the company Amit spol. s r.o. AMAP99S.

Keywords:

heating system, the step response, control system, parameters, regulation, reinforcement, integration

Poděkování:

V úvodu bych rád poděkoval firmě Sting Energo spol. s.r.o. která mi zapůjčila potřebný hardware a poskytla potřebné materiály pro vznik této práce. Dále bych rád poděkoval firmě Amit spol. s.r.o, která mi poskytla odborné konzultace a technickou podporu.

Rád bych také poděkoval doc. Ing. Ivo Neborákovi CSc., za vedení mé diplomové práce. Děkuji také rodině za podporu při studiu.

Úvod

Tato diplomová práce se zabývá analýzou a syntézou otopné soustavy.

Diplomová práce obsahuje dvě hlavní části:

- Teoretickou část:
 - Popis otopné soustavy
 - Způsoby měření fyzikálních veličin
 - Popis akčních členů otopné soustavy
 - Představení řídicích systémů (ŘS) od společnosti Amit spol. s.r.o, jejich specifika, možnosti nastavení a použití v jednotlivých aplikacích
 - Popis regulátorů, typy regulátorů a jejich možné použití pro dané aplikace

- Praktickou část:
 - Ověření poznatků získaných v teoretické části
 - Měření přechodové charakteristiky dvěma metodami
 - Výpočet parametrů soustavy
 - Ukázkový výpočet soustavy s dopravním zpožděním
 - Návrh regulátoru, na základě vypočítaných parametrů soustavy
 - Aplikování parametrů do algoritmu řízení a následné dynamické trendování (dlouhodobé sledování vybraných hodnot v grafu) v čase
 - Porovnání výsledků měření

Obsah:

| | |
|--|----|
| 1. Popis otopné soustavy a možnosti její regulace: | 4 |
| 1.1. Popis otopné soustavy | 4 |
| 1.2.1. Snímače Ni..... | 5 |
| 1.2.2. Snímače Pt | 5 |
| 1.3. Akční členy..... | 6 |
| 1.4. Popis řídicích systémů Amit spol. s r.o. | 7 |
| 1.4.1. Adir | 7 |
| 1.4.2. Amini4DS | 8 |
| 1.4.3. Amap99..... | 9 |
| 1.5. Konfigurace vstupů resp. výstupů v ŘS:..... | 10 |
| 1.5.1. Číslicové vstupy (DI):..... | 10 |
| 1.5.2. Analogové vstupy (AI): | 10 |
| 1.6. Popis základních typu regulátorů..... | 11 |
| 1.6.1. PI regulátor | 11 |
| 1.6.2. PID regulátor | 12 |
| 1.6.3. Popis PID regulátorů používaných v regulátorech firmy AMIT spol. s r.o.:..... | 13 |
| 2. Analýza otopné soustavy | 14 |
| 2.1. Popis měřené soustavy: | 14 |
| 2.2. Postup pro určení parametrů soustavy: | 15 |
| 2.2.1. Postup měření a)..... | 15 |
| 2.2.2. Postup měření b)..... | 15 |
| 2.3. Vlastní vypracování a) | 16 |
| 2.3.1. Naměřené hodnoty..... | 16 |
| 2.3.2. Výpočet parametrů soustavy:..... | 17 |
| 2.3.3. Ověření:..... | 19 |
| 2.4. Vlastní vypracování měření b) | 20 |
| 2.4.1. Naměřené hodnoty: | 20 |
| 2.4.2. Výpočet parametrů soustavy: | 21 |
| 2.4.3. Závěr: | 24 |
| 2.5. Dodatek k měření..... | 25 |
| 2.5.1. Aproximace dvoubodovou metodou. | 26 |
| 2.5.2. Závěr: | 28 |

| | |
|--|----|
| 3. Syntéza regulátoru pro otopnou soustavu | 28 |
| 3.1. Výpočet parametrů regulátorů pro soustavu z měření a):..... | 28 |
| 3.2. Výpočet parametrů regulátorů pro soustavu z měření b): | 29 |
| 3.3. Závěr: | 29 |
| 4. Ověření vlastností regulace otopné soustavy | 30 |
| 4.1. Princip zadávání parametrů do PI regulátoru Amit spol. s r.o.:..... | 32 |
| 4.2. Porovnání chování soustavy s různými parametry:..... | 34 |
| 4.3. Závěr: | 37 |
| 5. Závěr: | 39 |
| 6. Seznam obrázků: | 40 |
| 7. Seznam použité literatury:..... | 41 |
| 8. Seznam příloh: | 41 |

1. Popis otopné soustavy a možnosti její regulace:

1.1. Popis otopné soustavy

Pod pojmem otopná soustava je možno si představit soustavu, která zajišťuje ohřev vody pro vytápění prostorů, objektů, bytových domů, případně soustavu, která zajišťuje ohřev teplé užitkové vody. Tyto dva uvedené typy jsou základními představiteli otopné soustavy, existuje celá řada jiných aplikací jako například ohřívání vtažných větrů do dolů. Do jisté míry je možno za otopnou soustavu považovat také vzduchotechniku, tedy ohřev daného prostoru vzduchem.

Základní – primární složkou je zdroj tepla. V našich podmínkách nejčastěji používáme tyto tradiční zdroje tepla:

- Kotle spalující :
 - Černé, nebo hnědé uhlí
 - Dřevo, peletky, brikety, štěpky, biomasu - slámu
 - Zemní plyn a propan butan
- Elektrický ohřev – elektrické vložky, trny a patrony v kotlech a nádržích
- Solární kolektory
- Tepelná čerpadla

1.2. Snímání teploty

U otopné soustavy je regulovanou veličinou teplota snímána čidlem, nečastěji odporovými snímači teploty, které využívají kovové prvky, měnící své elektrovodivé vlastnosti v závislosti na teplotě. Nejčastěji je to Platinium (Pt) a Niccolum (Ni).

Metody měření teploty můžeme rozdělit do dvou základních skupin:

- Přímá metoda
- Nepřímá metoda

V regulaci otopných soustav se používá zejména přímé metody, kde teplota média je měřena pomocí snímačů. Nepřímá metoda se používá v regulaci pohonů pro oteplení strojů, kde nelze použít čidlo.

Přímá metoda měření teploty.

Tuto metodu můžeme dále rozdělit:

- Termoelektrické snímače
- Odporové kovové snímače
- Odporové polovodičové snímače

Další vybraná kritéria při volbě vhodného snímače:

- Teplota a druh média
- Rychlost odezvy
- Třída přesnosti
- Výstupní signál (odpor, napětí, proud)
- Citlivost
- Dlouhodobá stabilita použitých prvků
- Doporučený / maximální měřicí proud

Jak již bylo uvedeno, v regulaci otopné soustavy se nejvíce používají odporové kovové snímače a to zejména nikl (Ni1000) a platina (Pt1000)

1.2.1. Snímače Ni

Tyto snímače pracují v závislosti odporu na teplotě, mají kladný teplotní koeficient, neboli s rostoucí teplotou roste odpor. Záporný teplotní koeficient mají například snímače NTC.

Označení 1000 znamená, že při 0 °C je na výstupu snímače 1000 Ω. Dále je možno se setkat se snímači Ni 10000.

Pro příklad uvádím snímač výrobce SENSIT s.r.o.

¹Teplotní závislost odporu čidla v rozsahu teplot –60 až 250 °C je vyjádřena rovnicí

$$R = 1000 (1 + At + Bt^2 + Ct^3)$$

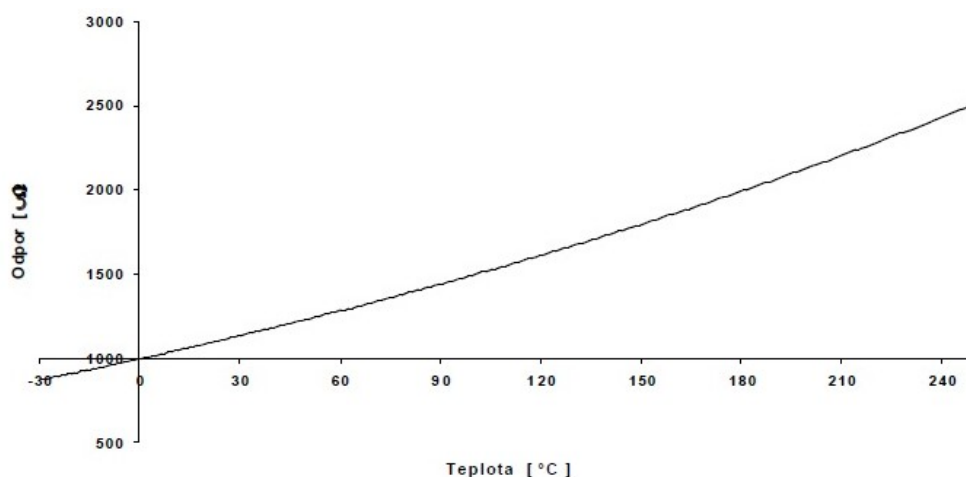
kde:

$$A = 4,427 \cdot 10^{-3} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$$

$$B = 5,172 \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-2}$$

$$C = 5,585 \cdot 10^{-9} \text{ } ^\circ\text{C}^{-3}$$

Tabulku závislosti odporu na teplotě uvádím v **příloze č. 1** Charakteristika snímače Ni 1000



Obrázek 1 – Graf závislosti odporu na teplotě

1.2.2. Snímače Pt

Platina je nejpoužívanějším odporovým materiálem, zejména díky následujícím vlastnostem:

- Velká chemická stálost
- Vysoká teplota tavení (1773,5 °C)
- Dosažení vysoké čistoty

Tento snímač má, stejně jako nikl, kladný teplotní koeficient a stejně tak, je hodnota odporu při 0 °C rovna 1000 Ω. Dále je možno se setkat se snímači Pt-100, 500, 10000

Pro příklad uvádím snímač od společnosti SENSIT s.r.o.

²Teplotní závislost odporu čidla je vyjádřena rovnicí

$$R = 1000 (1 + At + Bt^2 + C(t-100)t^3) \text{ v rozsahu teplot } -50 \text{ až } 0 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$R = 1000 (1 + At + Bt^2) \text{ v rozsahu teplot } 0 \text{ až } 600 \text{ } ^\circ\text{C}$$

kde:

$$A = 3,9083 \cdot 10^{-3} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$$

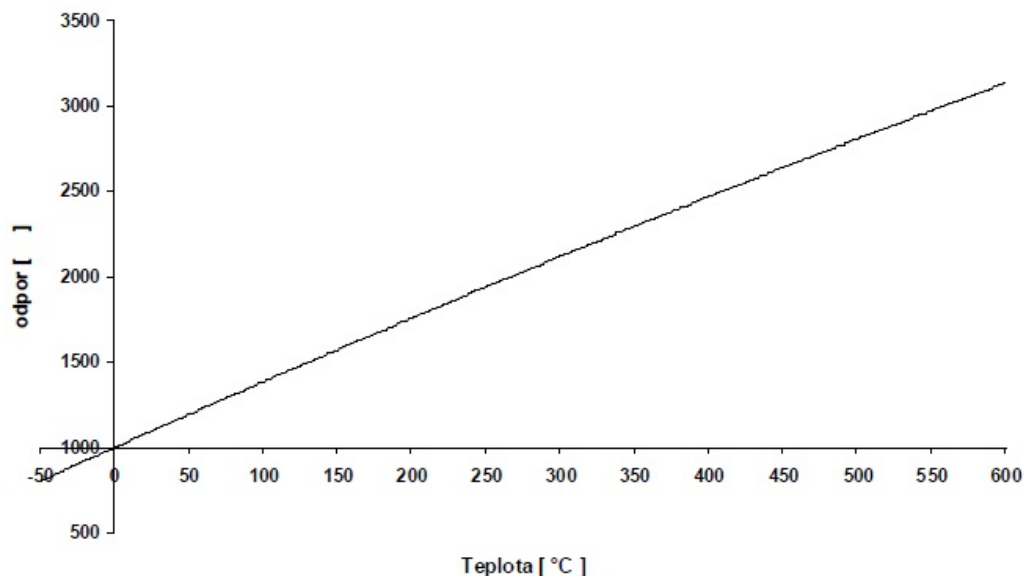
$$B = -5,775 \cdot 10^{-7} \text{ } ^\circ\text{C}^{-2}$$

$$C = -4,183 \cdot 10^{-12} \text{ } ^\circ\text{C}^{-4}$$

Tabulka závislosti odporu na teplotě je uvedena v **příloze č. 2**

¹ Charakteristika čidla teploty Ni 1000 SENSIT s.r.o.

² Charakteristika čidla teploty Pt 1000 SENSIT s.r.o.



Obrázek 2 - Graf závislosti odporu na teplotě

Pro správnou regulaci je velmi podstatné vhodně umístěné čidlo. Nevhodně umístěné čidlo v otopné soustavě může negativně ovlivnit funkci regulátoru tak, že nebude dosaženo dobrého výsledku regulace. Podle druhu dynamiky regulované soustavy se při návrhu čidla zabýváme nejen jeho vhodným umístěním v soustavě (ovlivňuje „dopravní zpoždění“, změny teploty), ale i reakční dobou vlastního čidla (např. rychlé snímače QAE 26.9 s reakční dobou do 3s). V případě nenadálých vzruchů teploty rušením a šumem vzniklým při elektrickém měření, je vhodné použít filtr s vhodně zvolenou časovou konstantou.

1.3. Akční členy

V případě teplovodního ohřevu otopné soustavy výměníku tepla regulujeme teplotu regulačním ventilem, který reguluje průtok teplotnosného média do tepelného výměníku.

Z toho vyplývá, že samotná regulace je řízena průtokem. Regulace na tuto fyzikální veličinu by však bylo značně obtížné a těžko by bylo dosaženo přesné regulace při požadavku na danou výstupní teplotu.

Návrh regulační charakteristiky ventilu je dalším důležitým předpokladem, určujícím kvalitu regulace otopné soustavy. Velikost průtoku regulačním ventilem je určena parametrem K_{VS} – jmenovitý průtok, který určuje množství vody v m^3/h , myšleno při maximálním otevření ventilu. Je-li ventil špatně navržen, může docházet k tomu, že průtok bude nedostatečný a nebude možno vodu nahřát na požadované parametry, nebo naopak, bude-li K_{VS} příliš velké, bude docházet k přehřívání soustavy. Tento parametr podstatnou měrou ovlivňuje kvalitu regulace. Pro ukázkou přikládám důležité parametry z katalogu ventilu od firmy LDM spol. s r.o., který je součástí **přílohy č.3**. Tyto ventily jsou řízeny elektrohydraulickými servopohony.

Parametry pro výběr vhodného servopohonu:

- Vstupní napětí 230V, 24V
- Řídící signál- 0-10V 4-20mA případně trojbodová regulace
- Doba přestavení (čas mezi přechodem z jedné krajní polohy do druhé)
- Typ ventilu (dvou-cestný, tři-cestný)
- H100 = Jmenovitý zdvih ventilu

- Δp_{max} = Maximální dovolená tlaková difference na regulační části ventilu s pohonem pro celý rozsah zdvihu
- Δp_s = Maximální dovolená tlaková difference, při které ventil s pohonem bezpečně uzavírá proti tlaku (zavírací tlak)
- Teplota média
- DN = Jmenovitá světlost

Dalším důležitým parametrem je okolní prostředí, z důvodu posouzení ochrany před nebezpečným dotykem živých a neživých částí elektrického zařízení. Servopohon musí být vybaven odpovídajícím krytím (IP) dle ČSN EN 60529.

Některé typy servopohonů jsou vybaveny havarijní funkcí tj. zajištění uzavření regulačního ventilu v případě přerušení elektrického napájení servopohonu. Servopohony je možné vybavit snímači zpětné vazby, informující o aktuální poloze otevření. Pro ukázkou přikládám důležité parametry z katalogu pohonů firmy Siemens s.r.o. **příloha č.4.**

1.4. Popis řídicích systémů Amit spol. s r.o.

„³Firma Amit spol. s.r.o. je přední český výrobce řídicích systémů, počítačů a elektroniky pro průmyslovou automatizaci. Specialista na zakázkový vývoj a výrobu elektroniky pro průmysl.

Pole působnosti společnosti Amit spol. s.r.o:

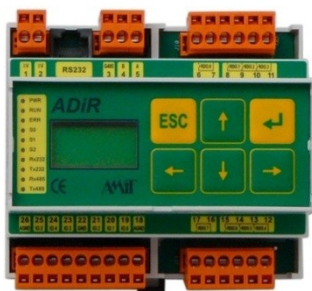
- kompaktní a modulární řídicí systémy
- průmyslové textové a grafické terminály, zobrazovače
- vývojové prostředí pro tvorbu vlastních aplikací
- průmyslové řídicí a informační systémy DB-Net a DB-Net/IP
- průmyslová komunikace, převodníky komunikačních linek
- distribuované vstupně/výstupní systémy
- vzdálené monitorování a sběr dat, řídicí a monitorovací dispečinky
- zakázkový vývoj a výroba elektronických zařízení pro průmyslovou automatizaci

1.4.1. AdiR

Nejmenší volně programovatelný kompaktní automat v nabídce firmy. Nejmenší pouze svou konfigurací, svým výpočetním výkonem, komunikačními schopnostmi a aplikačními možnostmi je srovnatelný s ostatními řídicí systémy. Na první pohled zapadá do kategorie programovatelných relé, avšak 6 univerzálních vstupů (Ni1000, 0..5V, bezpotenciálový vstup), parametrizace pomocí vyšších programovacích jazyků a paměť RAM 512 KB jej řadí mezi plnohodnotné řídicí systémy. Displej 2x8 znaků a 6 kláves poskytují základní uživatelské ovládání. Programovatelný automat ADiR je předurčen pro lokální řízení velmi malých soustav případně jako součást distribuovaných systémů. Chcete-li více než pouhé programovatelné relé, pak ADiR je ideální prvek pro řešení vašich automatizačních úkolů.“

| | |
|---------------------------|---|
| Počet vstupů | 6 |
| Typ vstupů | Ni1000 (analogový vstup), kontakt (číslicový vstup) |
| Počet číslicových výstupů | 8 |
| Typ číslicových výstupů | spínací relé 230 V / 1 A |
| Komunikační linky | 1 x RS232, 1 x RS485 (galv. odd.) |
| Displej | 2 x 8 znaků, podsvětlený LCD displej, 6 kláves |

³ <http://amit.cz/cz/products/minicompacts.htm>



Obrázek 3 – Řídicí systém Adir

1.4.2. Amini4DS

"⁴Nejuniverzálnější malý volně programovatelný automat, který splňuje všechny předpoklady pro komplexní autonomní řízení a ovládání malých soustav, strojů či zařízení za velmi přijatelnou cenu. AMiNi4DS je vybaven malým podsvětleným LCD displejem s výbornou čitelností. Rozměr displeje je 122 x 32 bodů. Pro snadnou obsluhu je přímo na čelním panelu k dispozici 8 kláves. Systém lze snadno rozšířit o moduly vzdálených V/V s protokolem ARION, které mají shodný design a způsob montáže. Mechanické provedení AMiNi4DS je ideální pro montáž do klasických "jistíčových" rozváděčů. Již ve standardní konfiguraci lze využít komunikačních rozhraní RS232, RS485 a Ethernet. Zapojením do informačního systému DB-Net/IP lze vytvořit rozsáhlé distribuované aplikace s výhodou obsáhlých lokálních archivů (paměťová kapacita 1 MB)."

| | |
|---------------------------|---|
| Počet číslicových vstupů | 8 |
| Typ číslicových vstupů | 24V ss./stř. |
| Počet číslicových výstupů | 8 |
| Typ číslicových výstupů | 24V/0.3 A ss. |
| Počet analogových vstupů | 8 |
| Typ analogových vstupů | 8x 0..5V, 0..10V, 0..20mA, Ni1000/Pt1000 (samostatně nastavitelné) |
| Počet analogových výstupů | 4 |
| Typ analogových výstupů | 0..10V |
| Komunikační linky | 1 x RS232, 1x RS485 (galv. odd.), 1x Ethernet |
| Displej | grafický 122 x 32 bodů, podsvětlený LCD displej, 8 kláves |



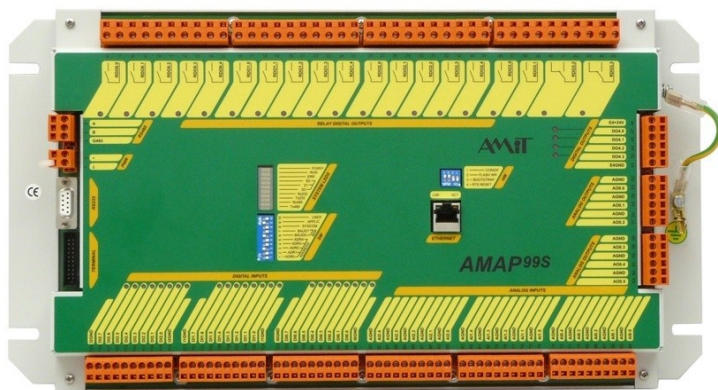
Obrázek 4 - Řídicí systém Amini 4DS

⁴ <http://amit.cz/cz/products/minicompacts.htm>

1.4.3.Amap99

„⁵Konstrukčně a designově se shoduje s AMiRiS99S. Řídicí systémy AMAP99S byly speciálně navrženy pro řízení malých až středně velkých autonomních celků především v oblasti řízení , tepelných soustav a podnikové energetiky. Snadným sesítováním řídicích systémů lze vytvořit relativně rozsáhlé celky měření a regulace jak z hlediska teritoriálního, tak i z pohledu celkového počtu technologických vstupů a výstupů.“

| | |
|-------------------------|---|
| Číslicové vstupy | 24 |
| Typ číslicových vstupů | 24 V ss. / stř. |
| Číslicové výstupy | 19 relé + 4 |
| Typ číslicových výstupů | 19x relé (230 V / 6 A), 4x 24 V /0.5 A ss. |
| Analogové vstupy | 15 |
| Typ analogových vstupů | 0..5 V, 0..10 V, 0..20 mA, Ni1000 (samostatně nastavitelné) |
| Analogové výstupy | až 6 |
| Typ analogových výstupů | 0..10 V (modul AM-AO2U), 0..20 mA (modul AM-AO2I) |
| Komunikační linky | 1 x RS232, 1x Ethernet, 1x volitelná linka pomocí komunikačního modulu řady AM-xx |



Obrázek 5 Řídicí systém Amap 99S

⁵ <http://amit.cz/cz/products/minicompacts.htm>

Pozn.:

U všech výše uvedených řídicích systémů je, mimo jiné, možno použít bloky:

- proporcionálně integrační regulátor (PI)
- proporcionálně derivační regulátor (PD)
- proporcionálně integračně derivační regulátor (PID)

1.5. Konfigurace vstupů resp. výstupů v ŘS:

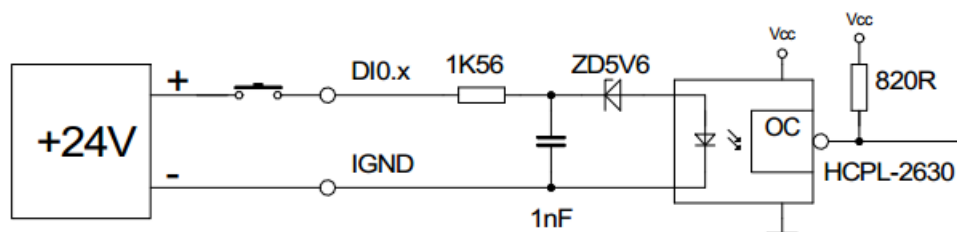
Do ŘS. mohou vstupovat různé signály:

- Analogové (elektrické)
 - Napětové 0-10V
 - Proudové 4-20mA
 - Odporové
- Číslicové 0/1

1.5.1.Číslicové vstupy (DI):

Signál přivedený na tyto vstupy může být, jak stejnosměrný, tak i střídavý, to je nutné předem definovat v software (SW).

Schéma zapojení DI:



Obrázek 6 –Schéma zapojení číslicových vstupů v ŘS Amit

Tyto vstupy je možno zapojit třemi způsoby:

- Pasivní kontakt napájený ze samostatného zdroje (stejnosměrný nebo střídavý)
- Aktivní kontakt z vlastního zdroje
- Připojení inkrementálního čidla

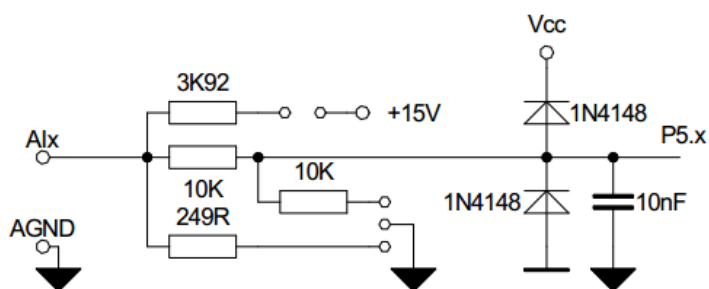
1.5.2.Analogové vstupy (AI):

Tyto vstupy je možno samostatně nakonfigurovat:

- 0-10V
- 0-5V
- 0-20mA
- Ni1000
- Pt1000

Konfigurace se provádí hardware (HW) propojkami a definicí v SW.

Schéma zapojení AI:



Obrázek 7 Schéma zapojení analogových vstupů v ŘS Amit

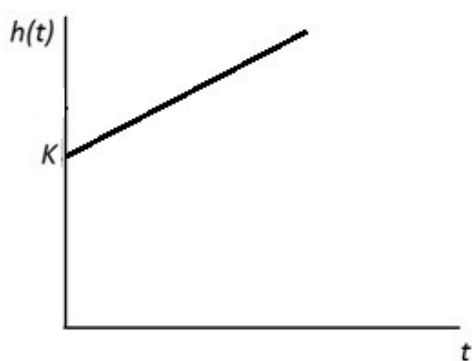
1.6. Popis základních typu regulátorů

Pro regulaci otopné soustavy se používá PI, nebo PID regulátor. PID regulátor obsahuje proporcionální konstantu, většinou označovanou písmenem K. Proporcionální konstanta, z praktického hlediska, reprezentuje zesílení regulační odchylky, označované jako x . Dále obsahuje integrační časovou konstantu, většinou označovanou T_i která je integrací regulační odchylky x . Poslední složkou je derivační konstanta, označována T_D , která je derivací regulační odchylky x . Nejčastější kombinací v otopné soustavě je typ PI, PID. Při použití PID je nastavení správných parametrů složitější a vyžaduje dlouhodobé trendování a ladění parametrů.

1.6.1.PI regulátor

Přenos PI regulátoru: $F(p) = K * \frac{1+pT}{pT}$

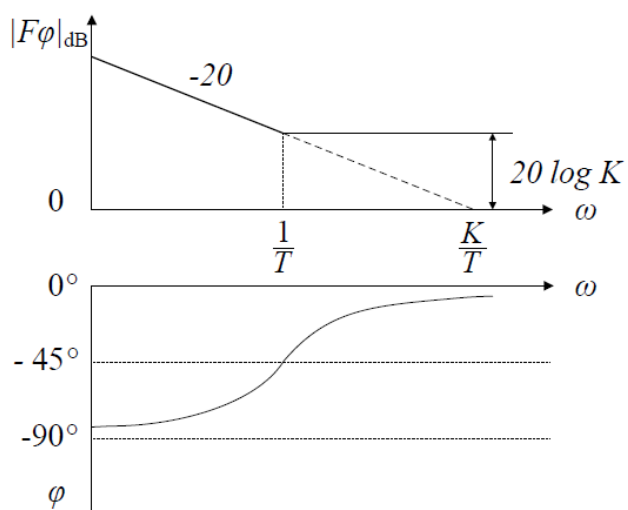
Přechodová charakteristika:



Obrázek 8 – Přechodová charakteristika PI regulátoru

LAFTECH:

6

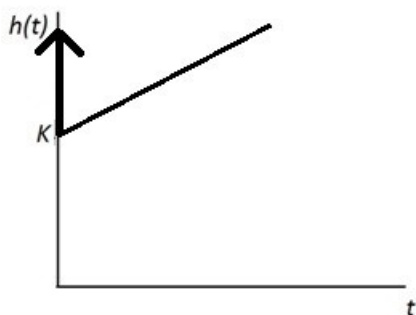


Obrázek 9 – Laffech PI regulátoru

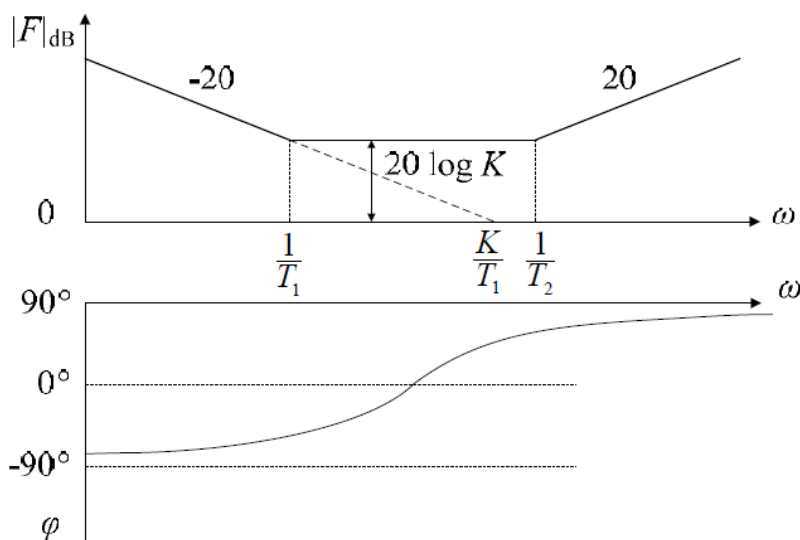
1.6.2. PID regulátor

Přenos PID regulátoru: $F(p) = K * \frac{(1+pT_1)(1+pT_2)}{pT_1}$

Přechodová charakteristika:



Obrázek 10 – Přechodová charakteristika PID regulátoru



Obrázek 11 – Laffech PID regulátoru

1.6.3. Popis PID regulátorů používaných v regulátorech firmy AMIT spol. s r.o.:

PID regulátor působí na regulovanou soustavu pomocí akční veličiny tak, aby se regulovaná veličina udržovala na předepsané hodnotě, neboli aby regulační odchylka byla co nejmenší, v ideálním případě nulová. Při snaze na co nejlepší nastavení regulátoru však může snadno dojít k jeho nestabilitě, popř. rozkmitání. Nastavení PID regulátoru je tedy určitým kompromisem mezi jednotlivými požadavky. Při regulaci teploty otopných soustav si ve většině případů vystačíme s PI regulátorem. V následující tabulce je uveden vliv jednotlivých složek PID regulátoru na regulační činnost.

Vliv zvětšování hodnot konstant na rychlost a stabilitu odezvy:

| Konstanta | Rychlost odezvy | Stabilita odezvy |
|----------------|-----------------|------------------|
| Proporcionální | Zvyšuje | Snižuje |
| Integrační | Snižuje | Zvyšuje |
| Derivační | Zvyšuje | Snižuje |

Výpočet akčního zásahu: V ŘS firmy AMIT spol. s r.o. je akční veličina počítaná podle následujícího vzorce:

$$y = K * \left(x + \frac{1}{T_i} \int_0^t x * dt + T_d * \frac{dx}{dy} \right)$$

2. Analýza otopné soustavy

Pro analýzu otopné soustavy bylo uskutečněno měření regulátorem Amap 99 (popis výše) na výměňkové stanici Střední školy Frýdek-Místek. Měření přechodových charakteristik je provedeno dle aplikační poznámky firmy Amit spol s.r.o., která se zabývá nastavením PID regulátoru s postupem pro získání přechodové charakteristiky otopné soustavy. Pro porovnání byla provedena dvě měření:

- Zjednodušené- jednou skokovou změnou ventilu z 0% na 100%
- Přesnější- pomocí dvou skokových změn a následným průměrem hodnot

Výstupem těchto měření jsou přechodové charakteristiky soustavy a její parametry, které jsou dále využívány k parametrizaci regulátoru. Pro přesnější odladění parametrů regulátoru je použit SW ViewDet. Jedná se o servisní nástroj určený pro dlouhodobé trendování vybraných parametrů v čase. Z těchto výsledků vyplyne, zda jsou parametry regulátoru správně nastaveny, nebo je zapotřebí provádět korekce parametrů a zpětné vyhodnocení.

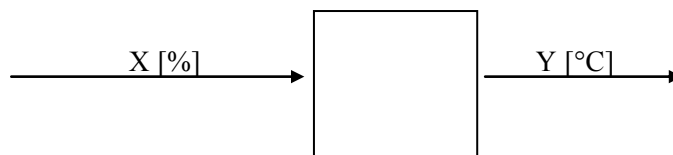
2.1. Popis měřené soustavy:

Před započítím měření je potřeba zanalyzovat měřenou soustavu.

Blok přípravy TUV je sestaven z deskového pájeného výměníku Alfa laval spol s r.o., okruhu nabíjení akumulární nádrže, nabíjecího čerpadla v nerezovém provedení a sestavy cirkulačního čerpadla. Teplota TUV za výměníkem pol. TT4.01 bude regulována na konstantní hodnotu 55°C ovládním regulačního ventilu TUV pol. YM4.02. Do řídicího systému bude snímána teplota za akumulárním zásobníkem pol. TT4.03. Z regulátoru jsou automaticky ovládána čerpadla TUV nabíjecí pol. M4.04 a čerpadlo cirkulace TUV pol. M4.05

Technologické schéma je možno vidět v **příloze č.5**.

Jednoduché schéma soustavy:



Vstup do soustavy: Procenta otevření regulačního ventilů

Výstup ze soustavy: Teplota za deskovým výměníkem

Výstupem z řídicího systému, je napětí v rozsahu 0-10V, kterým je řízen pohon. V algoritmu regulace, přesněji v bloku PI regulátoru, jsou výstupem procenta otevření regulačního ventilů. Blok zajišťuje lineární přepočít mezi procenty otevření ventilu a výstupním napětím na svorkách řídicího systému, tj. 0% = 0V, 100%=10V.

Akčním členem je dvoucestný regulační ventil HU211 HLC 1423 S2 16/140-40, DN40, PN16 od firmy LDM spol. s.r.o., (důležité parametry jsou uvedeny v **příloze č.3**) s pohonem SKD62, 24V/50 Hz, řízením 0-10V (vlastnosti pohonů SKD 62 jsou uvedeny v **příloze č.4**)

Snímání obou teplot je pomocí odporových snímačů NI1000/5000ppm viz popis v kapitole 1.2.1. Pro snímání teploty za výměníkem je použito čidlo s rychlou odezvou s označením NS160, pro snímání teploty za zásobníkem je použito čidlo s označením NS 120.

2.2. Postup pro určení parametrů soustavy:

Parametry soustavy nejlépe získáme z naměřené přechodové charakteristiky. Tu určíme tak, že změříme 2 odezvy na skok vstupu soustavy a parametry určíme průměrem z těchto dvou měření.

1. Skok 0-50% akčního zásahu
2. Skok 50-100% akčního zásahu

Při měření je nutné, aby byl systém v ustáleném stavu, na konci měření by se měl systém opět ustálit.

Zesílení soustavy je pak dáno vztahem: $K_s = \frac{\Delta y}{\Delta u}$

Kde:

Δy je rozdíl teplot na konci a na začátku měření [°C]

Δu je rozdíl hodnot vstupů na konci a na začátku měření [%]

Časová konstanta T_s se určí jako doba, za kterou výstup dosáhne 63% své ustálené hodnoty

2.2.1. Postup měření a)

- Po přepnutí PI regulátoru do manuálního režimu, nastavíme akční zásah na 0%
 - Počkáme na ustálení soustavy a odečteme rozdíl mezi žádanou a měřenou hodnotou
- Nastavíme PI regulátoru skokově hodnotu akčního zásahu z 0% na 100%
 - Počkáme na ustálení soustavy a odečteme rozdíl mezi žádanou a měřenou hodnotou
- Výsledek měření je graf závislosti teploty na čase

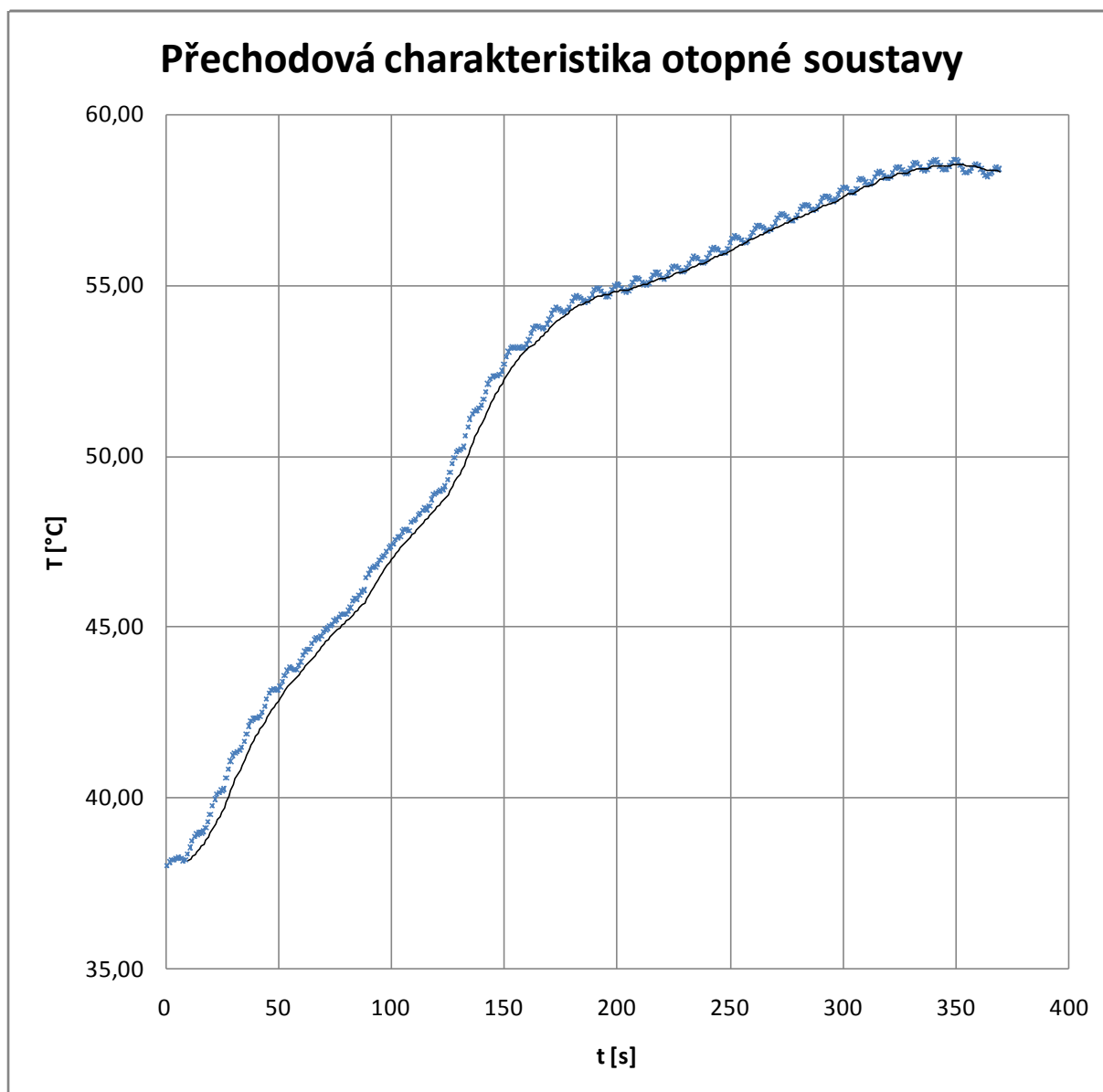
2.2.2. Postup měření b)

- Po přepnutí PI regulátoru do manuálního režimu, nastavíme akční zásah na 0%
 - Počkáme na ustálení soustavy a odečteme rozdíl mezi žádanou a měřenou hodnotou
- Nastavíme PI regulátoru skokově hodnotu akčního zásahu z 0% na 50%
 - Počkáme na ustálení soustavy a odečteme rozdíl mezi žádanou a měřenou hodnotou
- Nastavíme PI regulátoru skokově hodnotu akčního zásahu z 50% na 100%
 - Počkáme na ustálení soustavy a odečteme rozdíl mezi žádanou a měřenou hodnotou
- Porovnáme výsledky z obou měření

2.3. Vlastní vypracování a)

2.3.1. Naměřené hodnoty

- Počáteční ustálená teplota: 38 °C
- Koncová ustálená teplota: 58 °C
- Celková doba do ustálení soustavy: 354 s



Obrázek 12 – Přechodová charakteristika otopné soustavy

Na obrázku č.12 je zobrazena naměřená přechodová charakteristika otopné soustavy. Lze vidět, že naměřené hodnoty vykazovaly značný rozkmit, který byl podle mého názoru způsoben nestabilitou vstupní soustavy. Naměřené hodnoty jsou proloženy křivkou klouzavého průměru. Díky jednoduchosti měření je možno výslednou křivku považovat za proporcionální soustavu prvního řadu bez dopravního zpoždění. Charakteristika vykazuje drobné zpoždění, ovšem vzhledem k celkovému času je zpoždění zanedbatelné.

2.3.2. Výpočet parametrů soustavy:

Jak již bylo uvedeno, jedná o proporcionální soustavu prvního řadu bez dopravního zpoždění, která je daná přenosem:

$$G(s) = \frac{K}{1 + pT_s}$$

Kde:

- K je zesílení
- T_s je časová konstanta

Zesílení je dáno podílem ustálených hodnot vstupní a výstupní veličiny.

$$K_S = \frac{\Delta y}{\Delta u}$$

Kde:

- Δy je rozdíl teplot na začátku a na konci měření [$^{\circ}\text{C}$]
- Δu je rozdíl hodnot vstupů na začátku a na konci měření [%]

Po dosazení:

$$K_S = \frac{20}{100} \left[\frac{^{\circ}\text{C}}{\%} \right] = 0,2$$

Určení časové konstanty T_s

Časovou konstantou je doba, za kterou výstup dosáhne 63% své ustálené hodnoty. Vycházíme tedy ze vztahu:

$$\theta_x = [\theta_1 + 0,63 * (\theta_2 - \theta_1)]$$

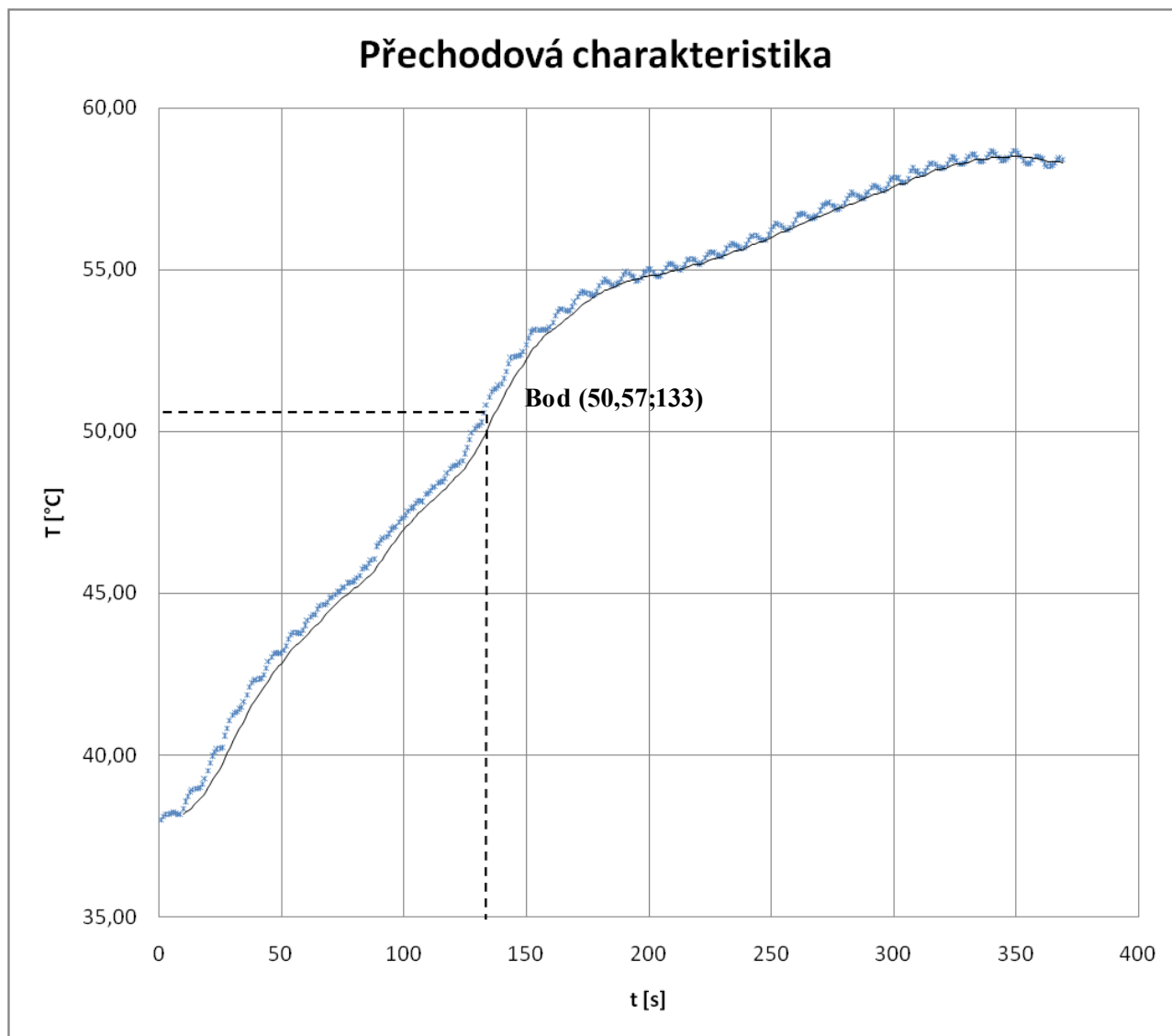
Kde:

- θ_1 teplota na začátku měření
- θ_2 teplota na konci měření

Po dosazení:

$$\theta_x = [38 + 0,63 * (58 - 38)] = 50,6$$

Tuto hodnotu nalezneme na změřené přechodové charakteristice a odečteme příslušný čas.



Obrázek 13 Přechodová charakteristika otopné soustavy

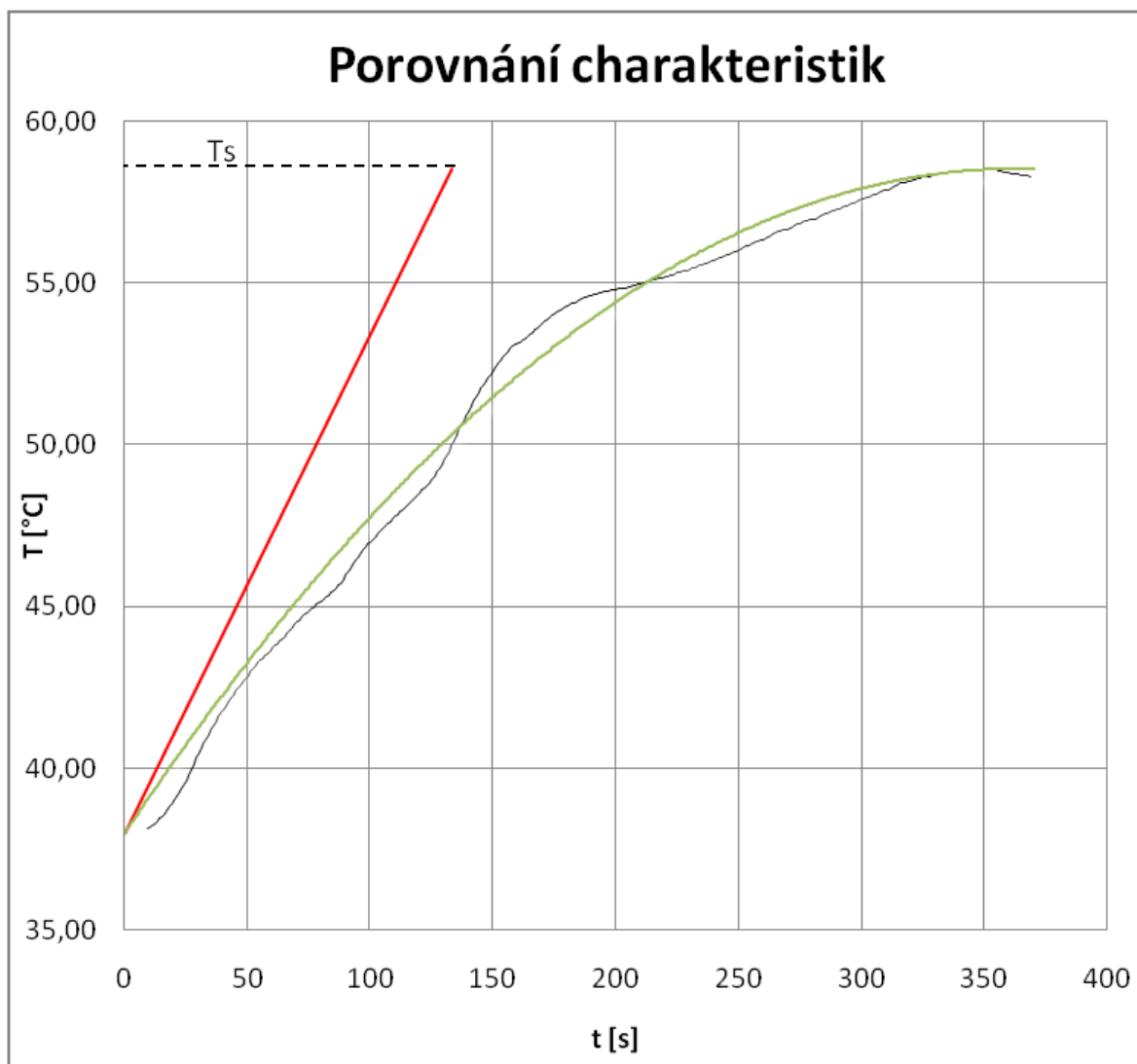
Odečtena časová konstanta $T_s = 133$ s

Přenos soustavy:

$$G(s) = \frac{0,2}{1 + p133}$$

2.3.3.Ověření:

Když jsou známy parametry soustavy, provede se ověření vypočítané časové konstanty. Vypočítaná časová konstanta je vynesena do grafu společně se změřenou charakteristikou.



Obrázek 14 Přechodová charakteristika otopné soustavy

Legenda:

- **Červená křivka:** Přímka protínající počátek s bodem vypočtené časové konstanty
- **Zelená křivka:** Idealizovaná křivka dle vypočtené časové konstanty
- **Černá křivka:** Změřená charakteristika

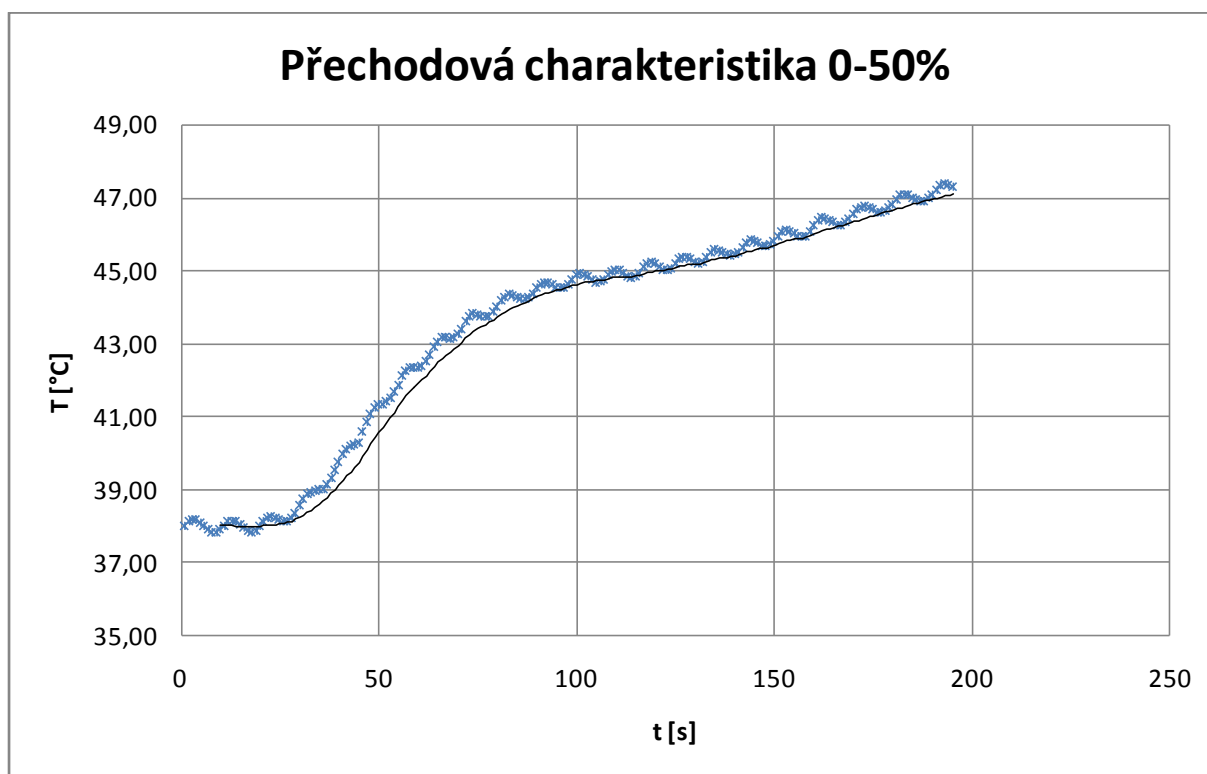
2.4. Vlastní vypracování měření b)

Měření je provedeno na téže soustavě viz. popis výše.

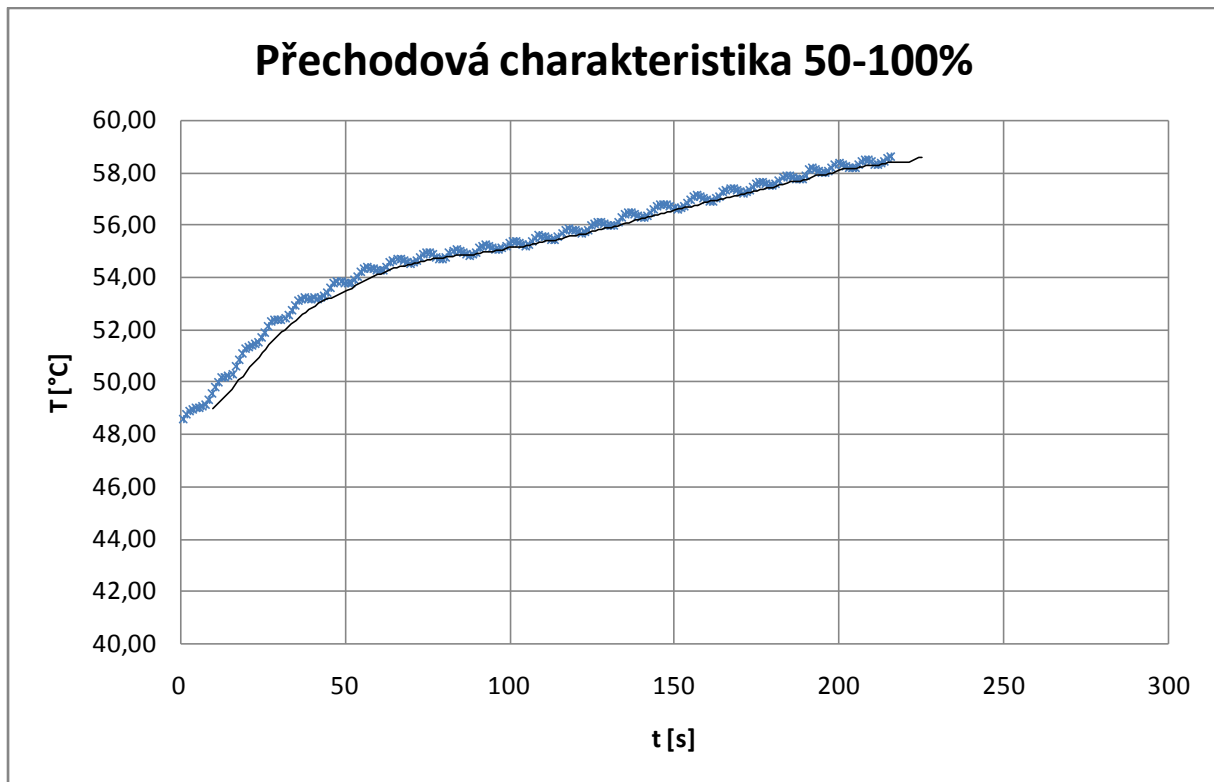
V tomto měření bylo nutné dosáhnout stejných počátečních hodnot jako u měření a), což se vzhledem k typu soustavy až na dobré odchytky povedlo.

2.4.1. Naměřené hodnoty:

- **0-50 %**
 - Počáteční ustálená teplota: 38 °C
 - Koncová ustálená teplota: 47 °C
 - Celková doba do ustálení soustavy: 194 s
- **50-100 %**
 - Počáteční ustálená teplota: 48 °C
 - Koncová ustálená teplota: 58 °C
 - Celková doba do ustálení soustavy: 215 s



Obrázek 15 Přechodová charakteristika otopné soustavy



Obrázek 16 Přechodová charakteristika otopné soustavy

2.4.2. Výpočet parametrů soustavy:

Opět se jedná o proporcionální soustavu prvního řádu bez dopravního zpoždění, která je daná přenosem:

$$G(s) = \frac{K}{1 + pT_s}$$

Kde:

- K je zesílení
- T_s je časová konstanta

Zesílení je dáno podílem ustálených hodnot vstupní a výstupní veličiny.

$$K_S = \frac{\Delta y}{\Delta u}$$

Kde:

- Δy je rozdíl teplot na začátku a na konci měření [°C]
- Δu je rozdíl hodnot vstupů na začátku a na konci měření [%]

Po dosazení

Pro 0-50%

$$K_{S1} = \frac{9}{50} \left[\frac{^{\circ}C}{\%} \right] = 0,18$$

Pro 50-100%

$$K_{S2} = \frac{10}{50} \left[\frac{^{\circ}C}{\%} \right] = 0,2$$

Celkové zesílení soustavy je dáno průměrem těchto hodnot:

$$K_S = \frac{K_{S1} + K_{S2}}{2} = \frac{0,18 + 0,2}{2} = 0,19$$

Určení časové konstanty T_{ls}

Časovou konstantu je doba, za kterou výstup dosáhne 63% své ustálené hodnoty.

Pro 0-50%

$$\theta_{x1} = [\theta_1 + 0,63 * (\theta_2 - \theta_1)]$$

Kde:

- θ_1 teplota na začátku měření
- θ_2 teplota na konci měření

Po dosazení:

$$\theta_{x1} = [38 + 0,63 * (47 - 38)] = 43,67 ^{\circ}C$$

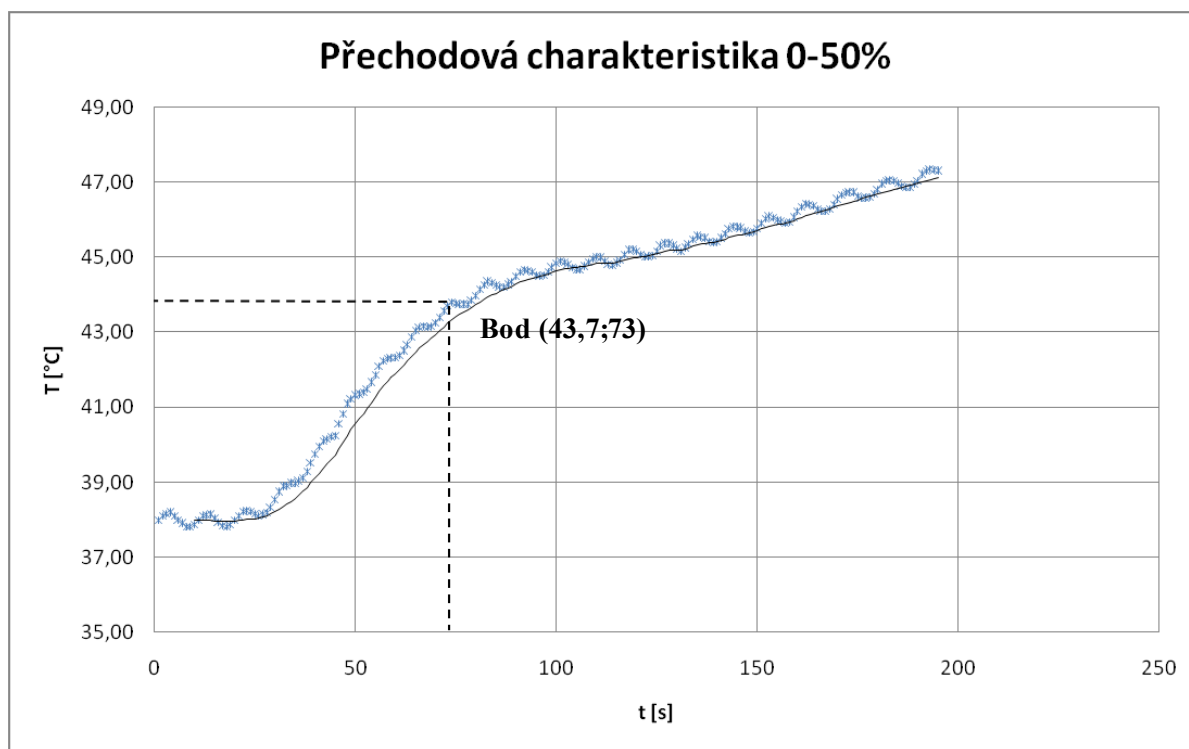
Pro 50-100%

$$\theta_{x2} = [\theta_1 + 0,63 * (\theta_2 - \theta_1)]$$

Po dosazení:

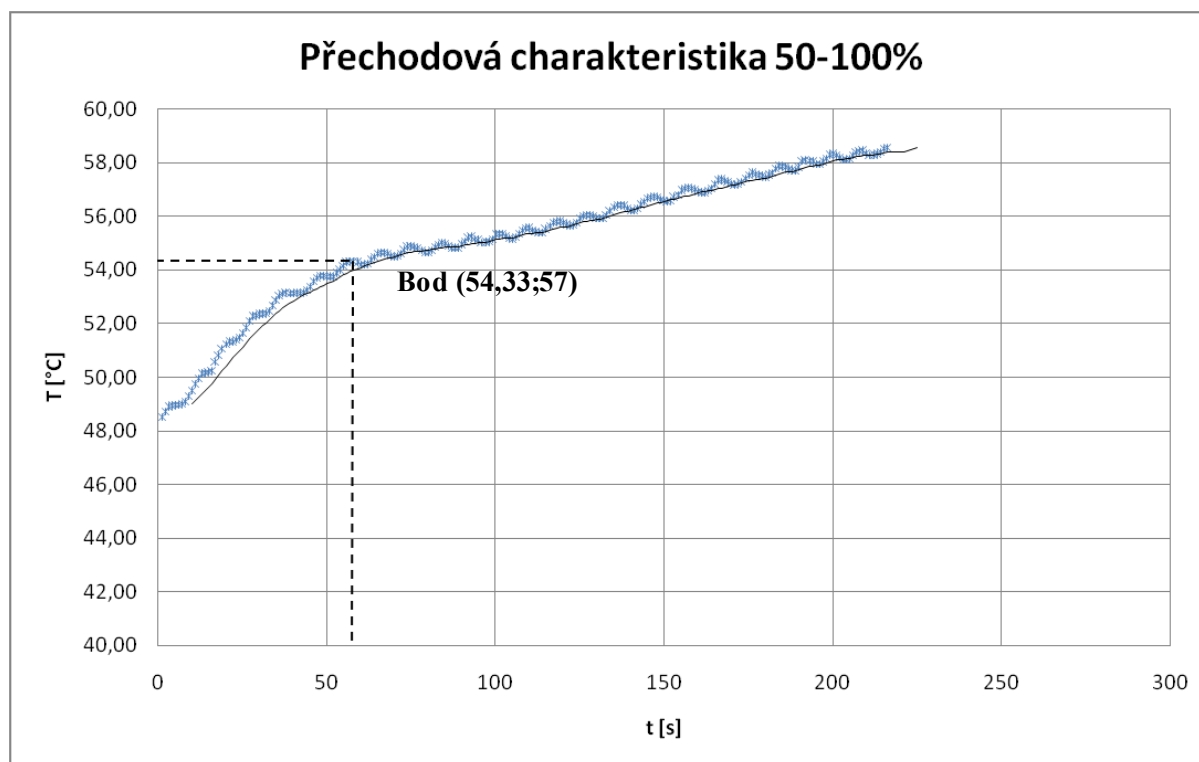
$$\theta_{x1} = [48 + 0,63 * (58 - 48)] = 54,3 ^{\circ}C$$

Tyto hodnoty nalezneme na změřených přechodových charakteristikách a odečteme příslušný čas.



Obrázek 17 Přechodová charakteristika otopné soustavy

Odečtena časová konstanta je $T_{s1} = 73$ s



Obrázek 18 Přechodová charakteristika otopné soustavy

Odečtena časová konstanta je $T_{s1} = 57$ s

Celková časová konstanta:

$$T_S = T_{S1} + T_{S2} = 73 + 57 = 130$$

Přenos soustavy:

$$G(s) = \frac{0,19}{1 + p130}$$

2.4.3.Závěr:

Úkolem tohoto měření bylo změřit přechodovou charakteristiku otopné soustavy. Byly použity dvě metody.

- Zjednodušenou metodou jednou skokovou změnou otevření ventilů z 0 na 100%. Výsledná přechodová charakteristika je vyobrazena na obrázku č.12). Z naměřených hodnot vyplývá, že se jedná o proporcionální soustavu prvního řadu bez dopravního zpoždění. Pro tuto soustavu vypočítáme parametry, kde výsledný přenos soustavy je:

$$G(s) = \frac{0,2}{1 + p133}$$

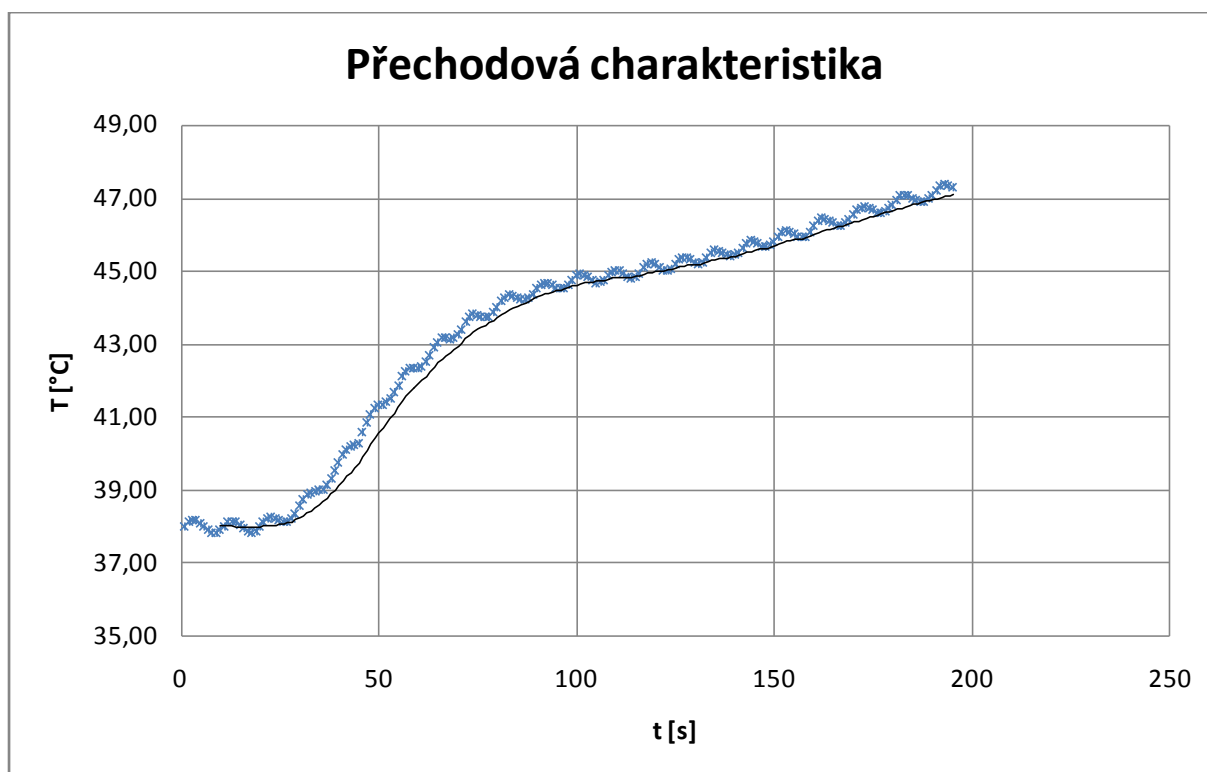
- Metodou dvou skokových změn otevření ventilů a to z 0 na 50% a z 50 na 100%. Bylo nutno přizpůsobit výchozí hodnoty prvnímu měření. Vzhledem k typu soustavy (výstup soustavy je tvořen zásobníkem teplé vody) bylo docíleno téměř shodných počátečních parametrů. Výsledné přechodové charakteristiky z tohoto měření jsou vyobrazeny na obrázcích: 15,16. Pro tuto soustavu vypočítáme parametry, kde výsledný přenos soustavy je:

$$G(s) = \frac{0,19}{1 + p130}$$

Výsledky těchto dvou metod jsou téměř shodné, což svědčí o správnosti měření. Tyto hodnoty tedy můžeme použít pro výpočet parametrů regulátoru (bod 3.)

Na změřených přechodových charakteristikách je patrný rozkmit měřených hodnot. Dle mého názoru je příčina rozkmitu v regulátoru topné vody, který má vlastní PI regulátor a tudíž i svou míru nepřesnosti. Předpokládám tedy, že se tato nepřesnost promítá do měřených charakteristik soustavy. Změřené charakteristiky jsem tedy proložil křivkou klouzavého průměru.

2.5. Dodatek k měření



Obrázek 19 Přechodová charakteristika otopné soustavy

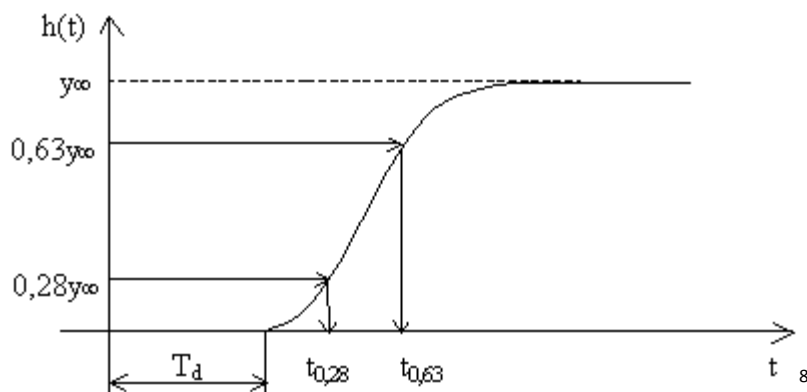
Na obrázku lze pozorovat dopravní zpoždění přechodové charakteristiky. Toto zpoždění může mít několik příčin, pro výpočet parametrů regulátoru se většinou zanedbává. Pro porovnání je proveden výpočet parametrů soustavy s dopravním zpožděním a výsledek je porovnán s předchozím výpočtem, kde bylo dopravní zpoždění zanedbáno.

Metody analýzy soustavy prvního řádu s dopravním zpožděním:

- Aproximace pomocí tečny v inflexním bodě
- Aproximace pomocí sečny v inflexním bodě
- Aproximace pomocí tečny a sečny v inflexním bodě
- Aproximace dvoubodovou metodou
- Aproximace přenosem druhého řádu
- Aproximace třibodovou metodou
- Aproximace metodou ploch

Volím metodu aproximace dvoubodovou metodou.

2.5.1. Aproximace dvoubodovou metodou.



Obrázek 20 Aproximace dvoubodovou metodou

Přenos soustavy je dán vztahem

$$G(s) = \frac{K}{1 + pT_s} * e^{p-T_d s}$$

Zesílení je dáno vztahem:

$$K_S = \frac{\Delta y}{\Delta u}$$

Kde:

- Δy je rozdíl teplot na začátku a na konci měření [°C]
- Δu je rozdíl hodnot vstupů na začátku a na konci měření [%]

Časové konstanty určíme:

1. Stanovíme hodnoty $y_{0,63} = 0,63 \cdot y(\infty)$, $y_{0,28} = 0,28 \cdot y(\infty)$ a jim odpovídající časové okamžiky $t_{0,63}$ a $t_{0,28}$.
2. Z hodnot $t_{0,63}$ a $t_{0,28}$ vypočteme parametry přenosu podle vztahů:

$$T_d = 1,5 * (t_{0,28} - \frac{1}{3} * t_{0,63})$$

$$T_1 = 1,5 * (t_{0,63} - t_{0,28})$$

Určení hodnot pro 0,62 a 0,28

$$\theta_{0,28} = [\theta_1 + 0,28 * (\theta_2 - \theta_1)]$$

Po dosazení:

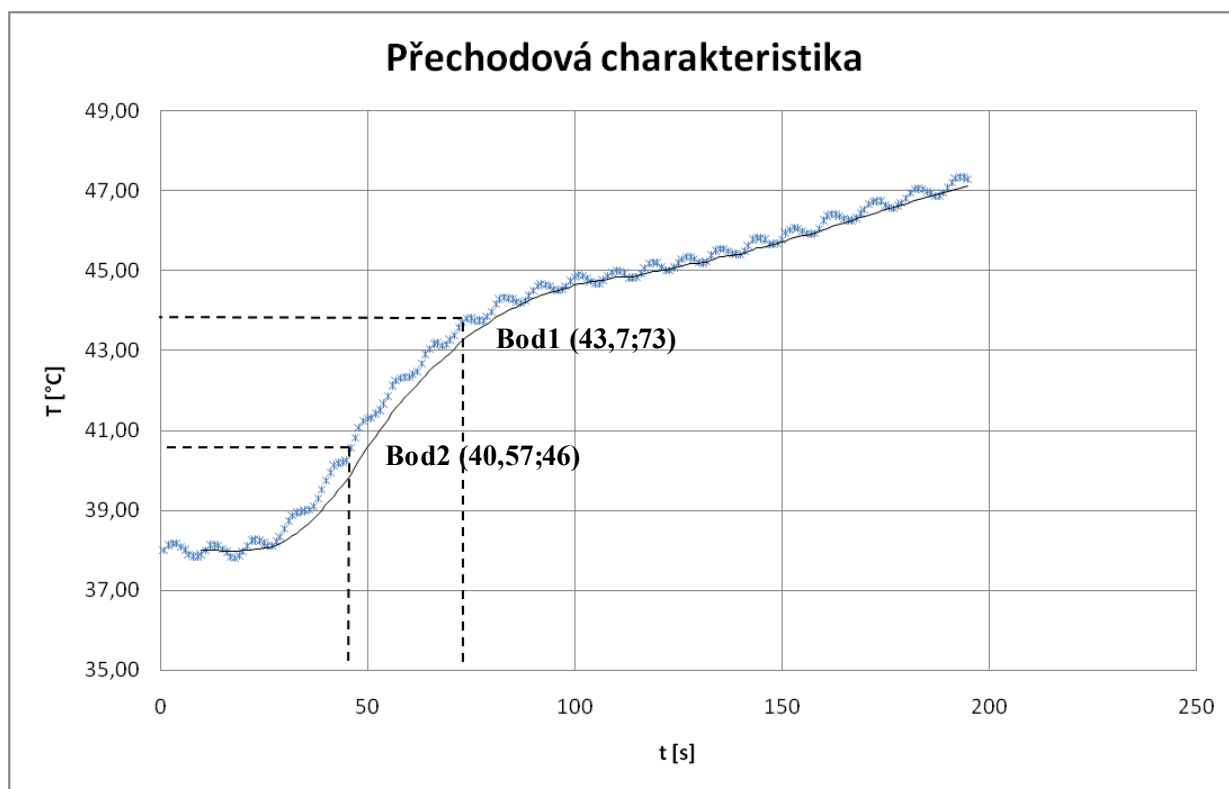
$$\theta_{0,28} = [38 + 0,28 * (47 - 38)] = 40,52 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\theta_{0,63} = [\theta_1 + 0,63 * (\theta_2 - \theta_1)]$$

⁸ http://www.352.vsb.cz/uc_texty/Identifikace/str/metody.htm#ma11

Po dosažení:

$$\theta_{0,63} = [38 + 0,63 * (47 - 38)] = 43,67 \text{ }^{\circ}\text{C}$$



Obrázek 21 Přechodová charakteristika otopné soustavy

Určení časových konstant

$$T_d = 1,5 * \left(46 - \frac{1}{3} * 73 \right) = 32,5$$

$$T_s = 1,5 * (73 - 46) = 40,5$$

Určení zesílení:

$$K_s = \frac{9}{50} = 0,18$$

Celkový přenos soustavy:

$$G(s) = \frac{0,18}{1 + p40,5} * e^{p-32,5}$$

2.5.2. Závěr:

V této části byla provedena analýza otopné soustavy s dopravním zpožděním. Tato analýza je pouze demonstrativní, aby bylo patrné, jak zpoždění ovlivní výsledný přenos. Pro výpočet parametrů regulátoru se vychází ze soustavy bez dopravního zpoždění. Z výsledného přenosu lze vidět, jak dopravní zpoždění ovlivní časovou konstantu soustavy. Při zanedbání dopravního zpoždění byla časová konstanta u této charakteristiky $T_{s1} = 73s$, s dopravním zpožděním $T_{s1} = 40,5s$. Tento rozdíl odpovídá dopravnímu zpoždění. Dopravní zpoždění u tohoto typu soustavy může mít například tyto příčiny:

- Doba otevření ventilu z 0 na 100%
- Doba otevření servopohonu
- Zpoždění čidla

V regulaci otopné soustavy se tyto jevy zanedbávají.

3. Syntéza regulátoru pro otopnou soustavu

Určení parametrů regulátoru:

Integrační časová konstanta se zvolí stejná, jako naměřená časová konstanta soustavy T_s . Zesílení je dáno vztahem:

$$K_R = 0,7 * \frac{1}{K_S}$$

3.1. Výpočet parametrů regulátorů pro soustavu z měření a):

Výpočet parametrů regulátoru vychází z parametrů soustavy:

$$G(s) = \frac{0,2}{1 + p133}$$

- Integrační časová konstanta T_1

Tuto konstantu většinou volíme stejnou jako vypočtenou časovou konstantu soustavy:

$$T_R = T_s = \underline{133s}$$

- Zesílení je dáno vztahem: $K_R = 0,7 * \frac{1}{K_S}$

$$\text{Po dosazení: } K_R = 0,7 * \frac{1}{0,2} = 3,5$$

3.2. Výpočet parametrů regulátorů pro soustavu z měření b):

Výpočet parametrů regulátoru vychází z parametrů soustavy:

$$G(s) = \frac{0,19}{1 + p130}$$

- Integrovní časová konstanta T_I

Tuto konstantu většinou volíme stejnou jako vypočtenou časovou konstantu soustavy:

$$T_R = T_S = \underline{130s}$$

- Zesílení je dáno vztahem: $K_R = 0,7 * \frac{1}{K_S}$

$$\text{Po dosazení: } K_R = 0,7 * \frac{1}{0,19} = 3,682$$

3.3. Závěr:

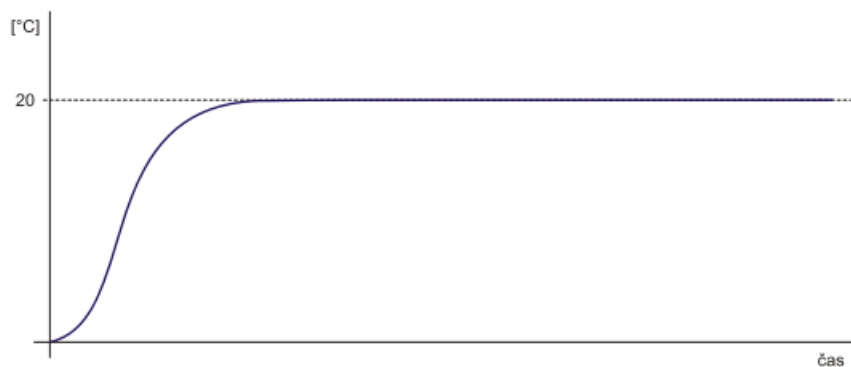
Na základě změřených přechodových charakteristik otopné soustavy a vypočtených parametrů soustavy, byly vypočítány parametry regulátoru. Tyto parametry implementuji do algoritmu regulace. Takto nastavené parametry docílí přesnou regulaci bez nežádoucích překmitů. Nastavené parametry regulátoru:

- Zesílení $K_R = \underline{3,5}$
- Integrovní časová konstanta $T_S = \underline{120s}$

Dopravní zpoždění bylo pro výpočet parametrů regulátoru zanedbáno. Pokud bychom nezanedbali dopravní zpoždění a toto dopravní zpoždění bychom nahradili setrvačným členem, pak by dle metody optimálního modulu vyšel regulátor typu PI. Při zanedbání dopravního zpoždění, dle metody optimálního modulu, by otevřená smyčka byla integrátor, což je nerealizovatelné a v praxi se používá zejména regulátoru typu PI. Parametry regulátoru byly určeny podle doporučení výrobce ŘS.

4. Ověření vlastností regulace otopné soustavy

Ideálně nastavené parametry regulátoru by měly mít následující průběh, jak ukazuje graf uvedený v aplikační poznámce firmy Amit spol. s r.o Tyto grafy jsou pouze demonstrativní, není zde použité stejné časové měřítko.

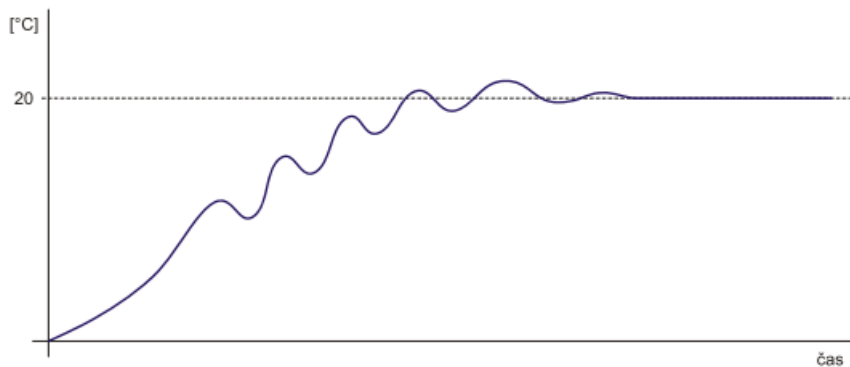


9

Obrázek 22 Vzorová křivka regulace otopné soustavy

Ukázky nesprávně nastavených parametrů regulátoru:

- Velmi malé zesílení K



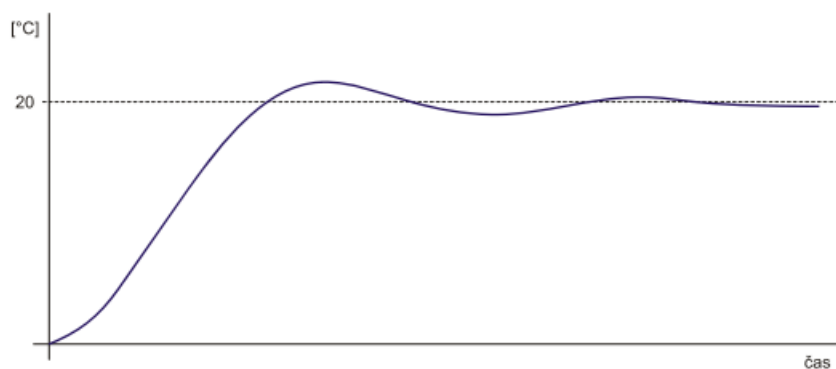
10

Obrázek 23 Vzorová křivka regulace otopné soustavy

⁹ Aplikační poznámka ap0042_cz_01.pdf „Nastavení PID regulátoru“

¹⁰ Aplikační poznámka ap0042_cz_01.pdf „Nastavení PID regulátoru“

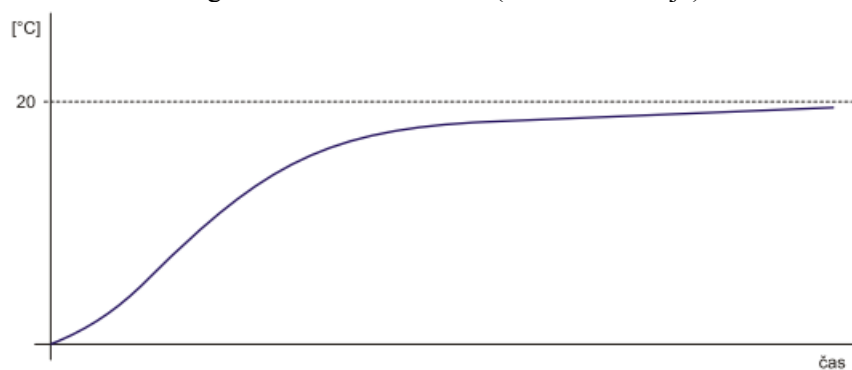
- Velké zesílení K



11

Obrázek 24 Vzorová křivka regulace otopné soustavy

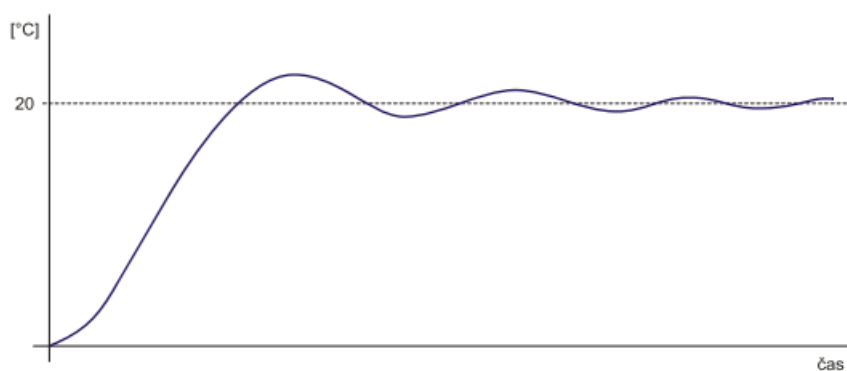
- Velká integrační časová konstanta (dlouho dotahuje)



12

Obrázek 25 Vzorová křivka regulace otopné soustavy

- Malá integrační časová konstanta (nežádoucí překmit)



13

Obrázek 26 Vzorová křivka regulace otopné soustavy

¹¹ Aplikační poznámka ap0042_cz_01.pdf „Nastavení PID regulátoru“

¹² Aplikační poznámka ap0042_cz_01.pdf „Nastavení PID regulátoru“

¹³ Aplikační poznámka ap0042_cz_01.pdf „Nastavení PID regulátoru“

Tyto grafy, jsou porovnávány s výsledky měření s určením, zda jsou parametry regulátoru nastaveny správně či nikoli.

4.1. Princip zadávání parametrů do PI regulátoru Amit spol. s r.o.:

„**PID** SetPoint, Measuring, Output, Mode, Params

Modul PID realizuje regulátor s regulačními algoritmy P, I, PI, PD a PID. Lze u něj nastavit řadu parametrů a přizpůsobit jej tak konkrétním aplikacím.

Parametry:

- **SetPoint:** Proměnná s žádanou hodnotou, na kterou se reguluje
- **Mesuring:** Proměnná s měřenou hodnotou, která se reguluje
- **Output:** Proměnná, do níž regulátor zapisuje hodnotu akčního zásahu
- **Mode:** Proměnná, která obsahuje režim činnosti regulátoru viz. popis a)
- **Params:** Matice o rozměrech [8 , 1] s parametry regulátoru. Vit. Popis

a) Popis parametrů Mode:

Pro tento parametr se používá „datová proměnná“ typu integer, u které se nastavují jednotlivé datové bity.

- **Bit 0 - Nulový akční zásah:**

Není-li z nějakého důvodu žádoucí pohybovat s akčním členem (např. inicializace procesní stanice), nastavuje se tento bit na log. 1. Regulátor pak udržuje akční zásah v „neutrálním stavu“. Hodnota log. 0 znamená odblokování regulátoru, což je povolení jeho činnosti.

- **Bit 1 - Režim AUT/MAN:**

Je-li tento datový bit nastaven na log. 0, pracuje regulátor v autonomním režimu, tj. reguluje podle zadaných parametrů. Je-li datový bit nastaven na log. 1, je regulátor přepnut do manuálního režimu, kdy výsledný akční zásah nezapisuje do výstupní proměnné a očekává se, že akční zásah zapíšeme ručně. Zpětné přepnutí do autonomního režimu je bezúrazové, tj. plynulá změna akčního zásahu.

- **Bit 2 - Konstanty PID/PSD:**

Je-li tento datový bit nastaven na log. 1 zadávají se běžné konstanty PID regulátoru tedy: K_S , T_I , T_D . odpovídající vzorci akčního zásahu:

$$y = k * (x + \frac{1}{T_I} \int_0^t x dt + T_d * \frac{dx}{dy})$$

Je-li ten datový bit nastaven na na log.0, nastavují se konstanty tzv. PSD regulátoru. Tyto konstanty odpovídající vzorci pro výpočet akčního zásahu:

$$y = y_{i-1} + b_0 + b_1 * x_{i-1} + b_2 * x_{i-2}$$

kde index i značí okamžitou hodnotu příslušné veličiny, $i-1$ hodnotu minulou a $i-2$ hodnotu předminulou

Tento typ regulátoru se používá pouze pro speciální aplikace.

- **Bit 3 – Nevyužit**

- **Bit 4 – Změna konstant**

Změna konstant regulátoru je spojena se značným množstvím přepočtů a kontrol. Není proto vhodné, aby regulátor prováděl tyto přepočty opakovaně. Měníme-li proto konstanty regulátoru, pak po poslední změně zapíšeme do tohoto bitu hodnotu 1. Regulátor pak provede jednorázově všechny potřebné operace a vrátí hodnotu bitu na 0. Tato hodnota setrvá po celou dobu až do další změny parametrů.

b) Popis parametrů Params

Činnost regulace lze dále ovlivnit nastavením konstant. Tyto konstanty jsou uloženy v databázové matici typu *MF* o rozměru 8 řádku a 1 sloupec

Popis jednotlivých prvků matice:

- **[0, 0]**
V režimu PID: proporcionální konstanta K
V režimu PSD: Konstanta $b0$
- **[1, 0]**
V režimu PID: Integrační časová konstanta T_i
V režimu PSD: Konstanta $b1$
- **[2, 0]**
V režimu PID: Derivační časová konstanta T_d
V režimu PSD: Konstanta $b2$
- **[3, 0]**
Dolní mez akčního zásahu: Používá se např. pro omezení zpoždění při otevření ventilů
- **[4, 0]**
Horní mez akčního zásahu: Používá se např. pro omezení krajní hodnoty otevření ventilů
- **[5, 0]**
Neutrální stav akčního zásahu (posunutí nuly, bias) Je to hodnota, která se přičítá k vypočtenému akčnímu zásahu.
- **[6, 0]**
Pásmo necitlivost regulátoru na regulační odchylku. Je-li absolutní hodnota odchylky menší než žádaná hodnota, neprovádí regulační algoritmus žádné změny akčního zásahu. Tak lze v ustáleném stavu podstatně omezit namáhání akčního členu.
- **[7, 0]**
Zpoždění derivace Tento parametr má význam pouze u PD případně PID regulátoru. Časová konstanta filtru 1. Řádu na odfiltrování šumu aby se derivační složka nezahlcovala šumem.

4.2. Porovnání chování soustavy s různými parametry:

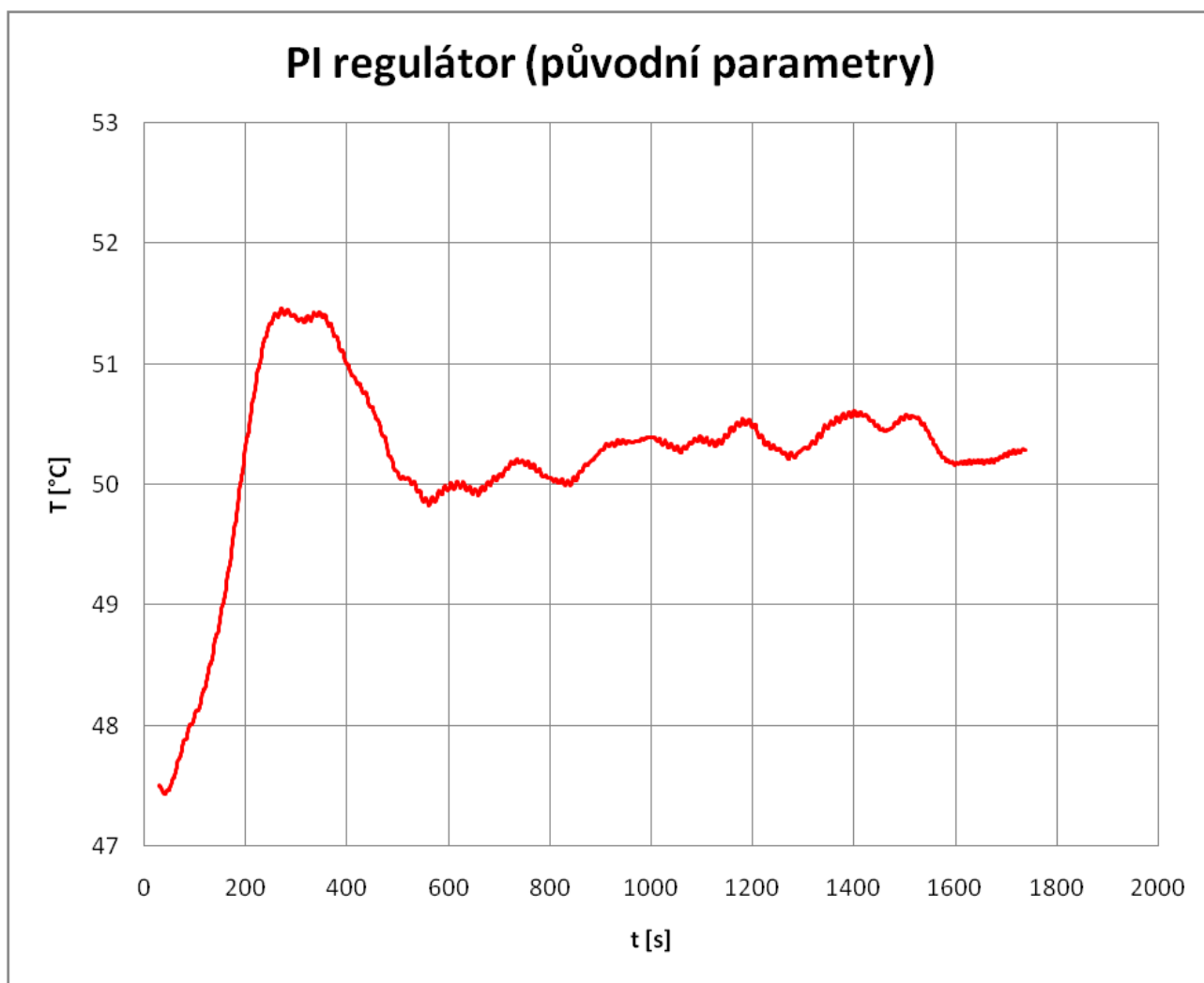
Pro ukázkou jsou zde uvedeny dva grafy s původními parametry. Tyto grafy jsou vybrány z dlouhodobého trendování soustavy, jedná se o dva různé dny. Vybrané úseky byly při větším odběru teplé užitkové vody a následném poklesu měřené veličiny, aby bylo vidět, chování regulace.

Před analýzou soustavy byly na PI regulátor nastaveny následující parametry:

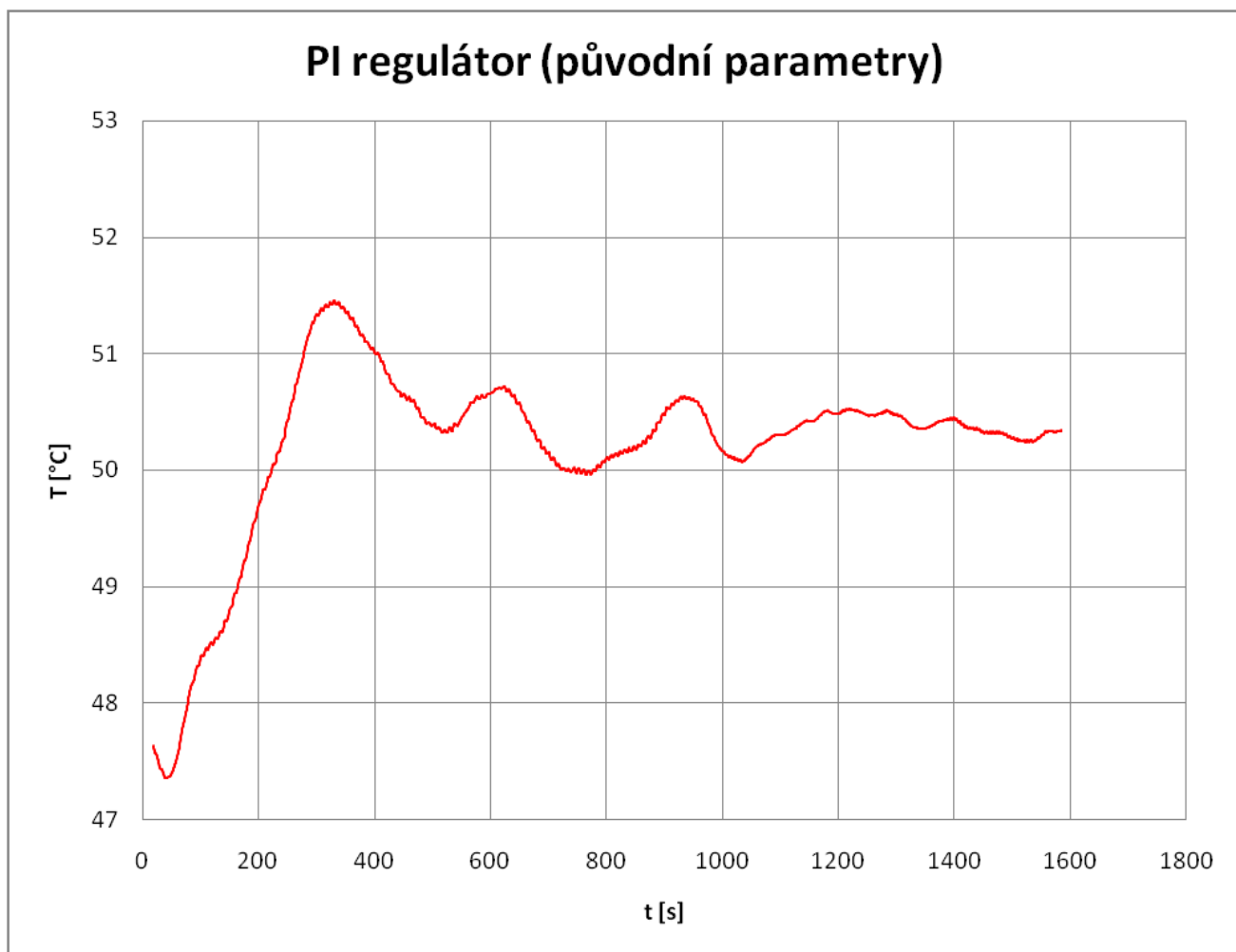
- [0, 0] $K_R = 3$
- [1, 0] $T_I = 80s$
- [2, 0] $T_D = 0s$
- [3, 0] $DM = 0\%$
- [4, 0] $HM = 100\%$
- [5, 0] $PN = 0,5^\circ C$
- [6, 0] $SD = 0$
- Žádaná hodnota $50^\circ C$

Viz. Popis výše.

Z trendů byly vybrány dva úseky, při kterých došlo vlivem odběru teplé užitkové vody k poklesu měřené hodnoty a následnému doregulování.



Obrázek 27 Křivka regulace otopné soustavy



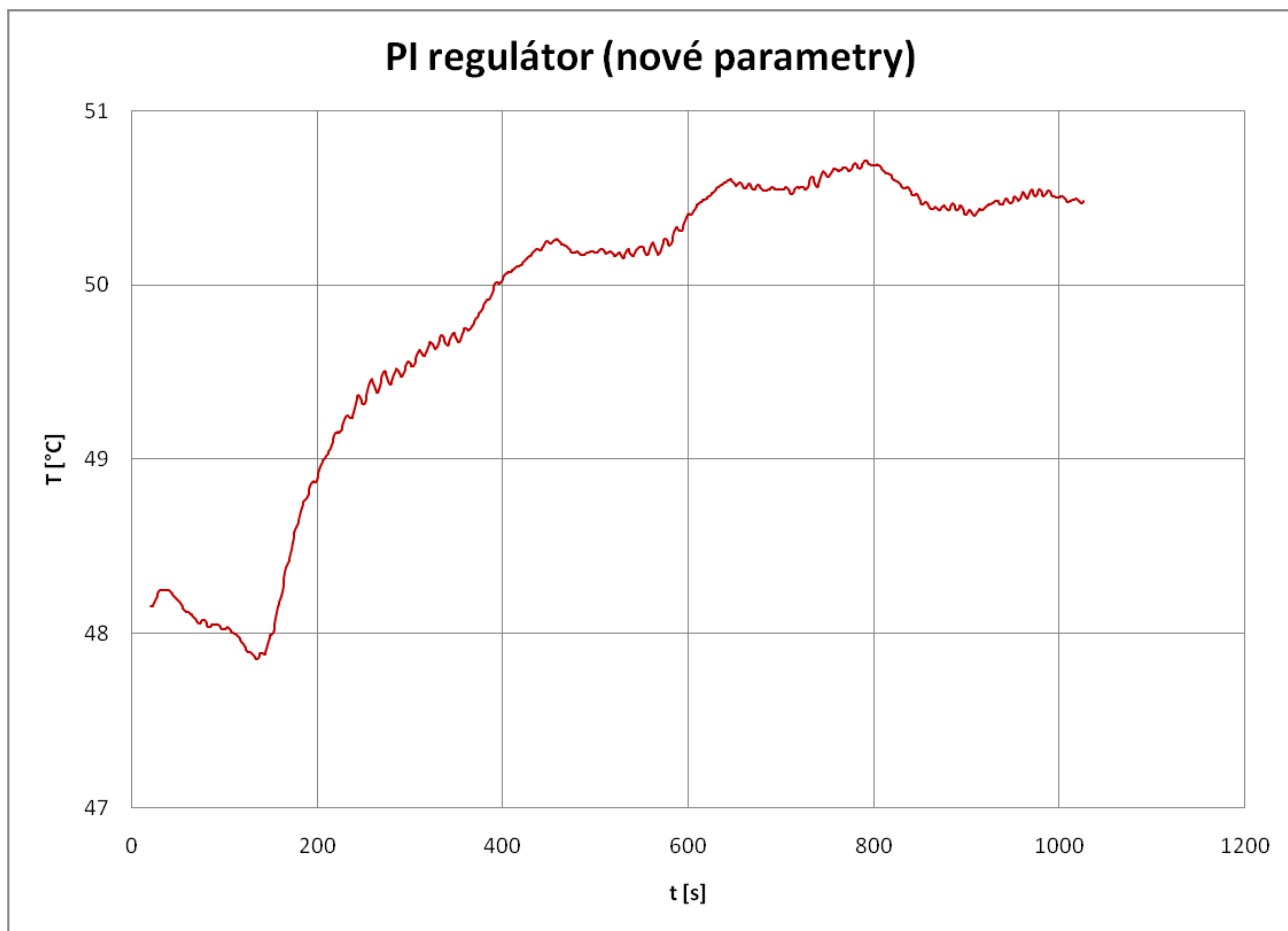
Obrázek 28 Křivka regulace otopné soustavy

Zhodnocení:

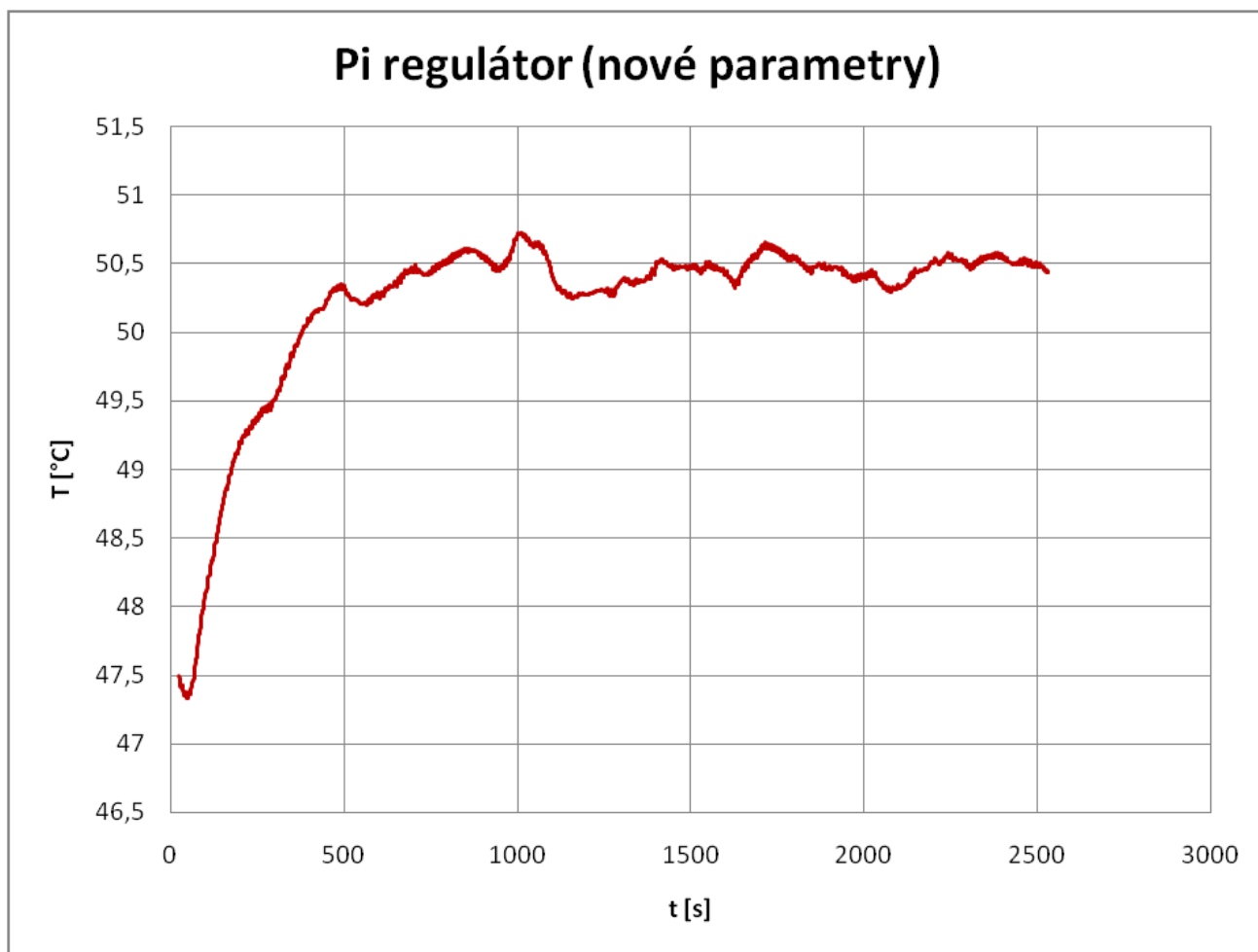
Na výše uvedených grafech lze pozorovat, jak akční zásah reaguje na změnu měřené hodnoty. Takto nastavené parametry vykazují překmit zhruba $1,5^{\circ}\text{C}$. Dále je možno pozorovat, že ustálená hodnota na konci děje je zhruba $50,5^{\circ}\text{C}$ i když žádaná hodnota je 50°C . Toto je způsobeno nastaveným pásmem necitlivosti (viz. popis výše) $0,5^{\circ}\text{C}$. Tyto grafy se nejvíce podobají obrázku č. 26, což ukazuje na malou integrační konstantu. Tato skutečnost potvrzuje výsledek mého měření, kde vyšla časová konstanta podstatně větší, než původně nastavena hodnota. Hodnota zesílení byla určena celkem přesně.

Zde jsou opět dva vybrané úseky z trendu pro dva různé dny, jak tomu bylo v předchozím případě. Nyní nastavím PI regulátor podle vypočítaných parametrů v bodě. 3

- [0, 0] $K_R = 3,5$
- [1, 0] $T_I = 120s$
- [2, 0] $T_D = 0s$
- [3, 0] $DM = 0\%$
- [4, 0] $HM = 100\%$
- [5, 0] $PN = 0,5^\circ C$
- [6, 0] $PN = 0$
- Žádaná hodnota $50^\circ C$



Obrázek 29 Křivka regulace otopné soustavy

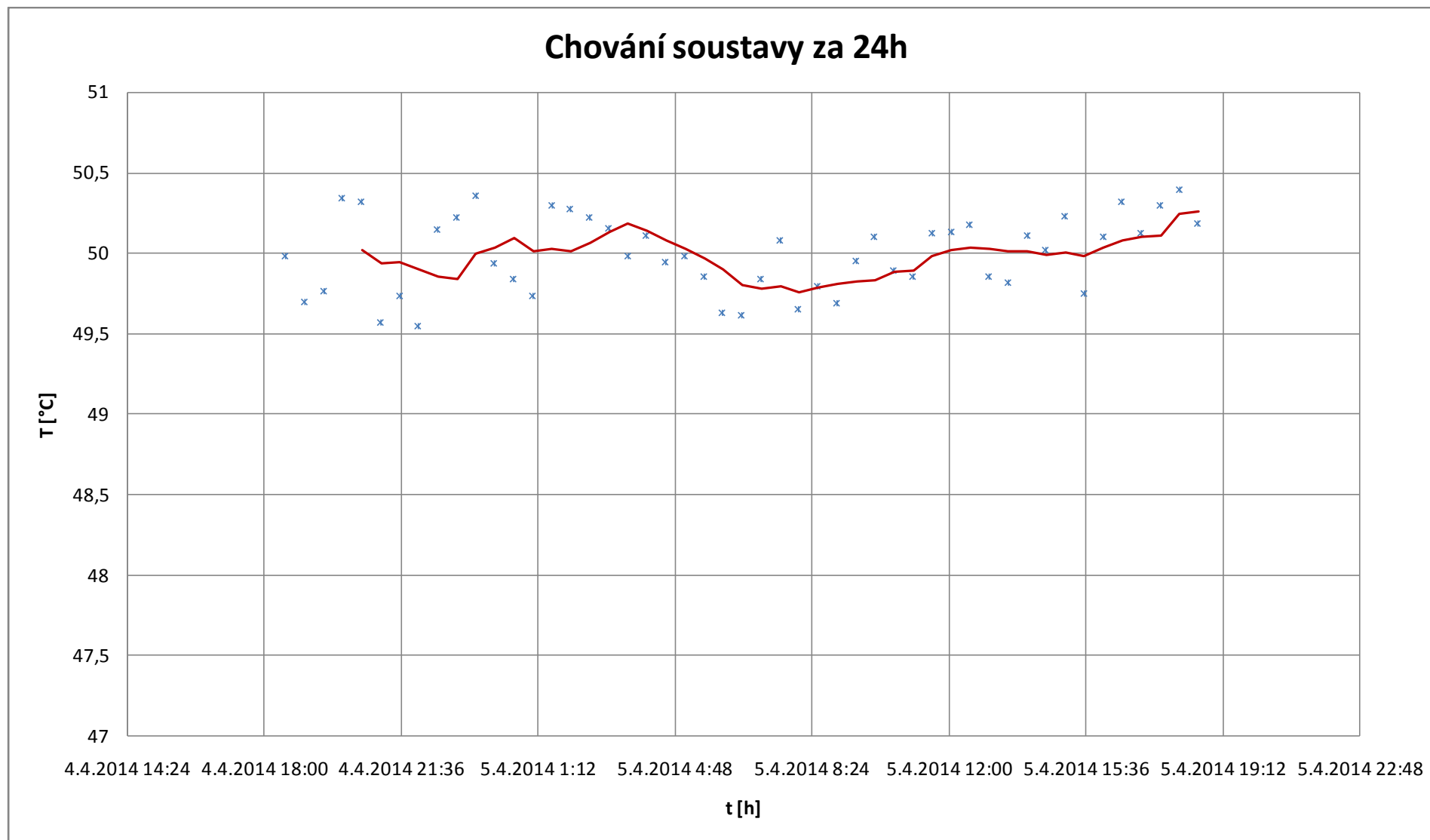


Obrázek 30 Křivka regulace otopné soustavy

4.3. Závěr:

Po nastavení nových parametrů se soustava lépe vypořádá ze změnou měřené veličiny. Překmit již není tak výrazný, jak tomu bylo u předchozích parametrů, ovšem mírně se zhoršila dynamika. Což, u tohoto typu soustavy, není tak fatální, jako nežádoucí překmit. Soustava se opět ustálí na hodnotě 50,5°C. Jak již bylo zmíněno, při měření přechodové charakteristiky soustavy, vstupem do soustavy je regulovaná topná voda s vlastním PI regulátorem a tudíž svou nepřesností. Tyto nepřesnosti také ovlivní chování sledované soustavy. To lze na grafu pozorovat jako zvlnění výsledné křivky. Je možno tedy konstatovat, že mnou navržené parametry se osvědčily a měly kladný vliv na chování soustavy. Ještě přesnější doladění parametrů by bylo možné po experimentálním zkoušení a dlouhodobějším trendování. Z hlediska typu soustavy nedoporučuji zařadit do algoritmu regulace derivační složku. Tuto složku by bylo velice obtížné matematicky určit a musela by se tedy odhadnout na základě dlouhodobého trendování.

Pro ukázkou je na obrázku č.31 zobrazeno, chování analyzované soustavy za 24h



Obrázek 31 Graf chování soustavy za 24h

5. Závěr:

Cílem této práce bylo provedení analýzy a syntézy otopné soustavy.

Teoretická část se zabývá popisem otopné soustavy z hlediska vstupů, výstupů a možností její regulace. V praktické části bylo provedeno měření konkrétní otopné soustavy s cílem její analýzy.

Soustavou byl blok přípravy TUV. Výstupem tohoto měření byly přechodové charakteristiky, které až na drobné nepřesnosti odpovídaly předpokladům z teorie.

Zjistil jsem, že nepřesnosti jsou způsobeny vlivem regulace topné vody, která je v tomto případě vstupem do měřené soustavy. Dále bylo z křivek přechodových charakteristik patrné, že sledovaná soustava nabývá dopravního zpoždění. Zabýval jsem se tedy otázkou, zda s tímto zpožděním počítat či nikoli. Po odborných konzultacích s techniky společnosti Amit spol. s r.o., jsme došli k závěru, že pro tento typ soustavy bude lepší dopravní zpoždění zanedbat. V otopných soustavách probíhají velice složité tepelné děje a přesná analýza těchto dějů by byla velice komplikována a obsahově by nezapadala do tématu této práce.

Na základě provedeného měření byly definovány parametry soustavy, které byly podkladem k určení parametrů regulátoru. Pro návrh regulátoru však existuje celá řada metod.

Obecné metody nebyly pro danou problematiku vhodné, protože tyto parametry bylo zapotřebí implementovat do konkrétního typu řídicího systému. Bylo tedy vycházeno z návodu výrobce řídicích systémů. Před implementováním vypočítaných parametrů do algoritmu regulace, bylo provedeno porovnání soustavy s původními parametry, které se od nově vypočítaných parametrů výrazně lišily. Po zadání nových parametrů regulátoru byly soustava podrobena dlouhodobému sledování. Jak je již byly konkrétně popsáno v závěru bodu č. 4., nové nastavení mělo kladný vliv na chování soustavy.

Myslím tedy, že tato práce byla přínosem, jak pro mne, protože jsem měl možnost ověřit poznatky získané v teorii na konkrétním problému, tak pro samotnou aplikaci. Soustava je, dle sdělení provozovatele, o poznání klidnější. V závěru ještě jednou děkuji všem, kdo mi pomohli tuto práci zpracovat.

6. Seznam obrázků:

| | |
|---|----|
| Obrázek 1 Graf závislosti odporu na teplotě..... | 5 |
| Obrázek 2 Graf závislosti odporu na teplotě..... | 6 |
| Obrázek 3 Řídící systém Adir | 8 |
| Obrázek 4 Řídící systém Amini 4DS | 8 |
| Obrázek 5 Řídící systém Amap 99S | 9 |
| Obrázek 6 Schéma zapojení číslicových vstupů v ŘS Amit..... | 10 |
| Obrázek 7 Schéma zapojení analogových vstupů v ŘS Amit..... | 11 |
| Obrázek 8 Přechodová charakteristika PI regulátoru | 11 |
| Obrázek 9 Laffech PI regulátoru | 12 |
| Obrázek 10 Přechodová charakteristika PID regulátoru | 12 |
| Obrázek 11 Laffech PID regulátoru | 13 |
| Obrázek 12 Přechodová charakteristika otopné soustavy | 16 |
| Obrázek 13 Přechodová charakteristika otopné soustavy | 18 |
| Obrázek 14 Přechodová charakteristika otopné soustavy | 19 |
| Obrázek 15 Přechodová charakteristika otopné soustavy | 20 |
| Obrázek 16 Přechodová charakteristika otopné soustavy | 21 |
| Obrázek 17 Přechodová charakteristika otopné soustavy | 23 |
| Obrázek 18 Přechodová charakteristika otopné soustavy | 23 |
| Obrázek 19 Přechodová charakteristika otopné soustavy | 25 |
| Obrázek 20 Aproximace dvoubodovou metodou..... | 26 |
| Obrázek 21 Přechodová charakteristika otopné soustavy | 27 |
| Obrázek 22 Vzorová křivka regulace otopné soustavy..... | 30 |
| Obrázek 23 Vzorová křivka regulace otopné soustavy..... | 30 |
| Obrázek 24 Vzorová křivka regulace otopné soustavy..... | 31 |
| Obrázek 25 Vzorová křivka regulace otopné soustavy..... | 31 |
| Obrázek 26 Vzorová křivka regulace otopné soustavy..... | 31 |
| Obrázek 27 Křivka regulace otopné soustavy | 34 |
| Obrázek 28 Křivka regulace otopné soustavy | 35 |
| Obrázek 29 Křivka regulace otopné soustavy | 36 |
| Obrázek 30 Křivka regulace otopné soustavy | 37 |
| Obrázek 31 Graf chování soustavy za 24h | 38 |

7. Seznam použité literatury:

[1] Říha Z.: ap0042_cz_01.pdf, dostupné z:

<http://amit.cz/support/cz/aplikacni_poznamky/ap0042_cz_01.pdf>

[2] Neborák I.: Skriptum ERP2, elektronické silaby pro výuku dostupné z: <<http://lms.vsb.cz>>

[3] Produkty Amit spol. s r.o. dostupné z: <<http://amit.cz/cz/products/minicompacts.htm>>

[4] Metody identifikace systémů z přechodových charakteristik dostupné z:

< http://www.352.vsb.cz/uc_texty/Identifikace/str/metody.htm>

[5] Bobál, V.: Identifikace systémů. 1. vydání. vydal: Vysoké učení technické v Čs. redakci VN MON.
1990

[6] Pohony Simenes spol. s r.o. Bulding technologies dostupné z:

<https://www.cee.siemens.com/web/cz/cz/corporate/portal/home/infrastructure-cities/IBT/mereni_a_regulace/ventily_a_pohony/pohony_20-40_mm/Documents/N4566C_SKC_.pdf>

Doplňková literatura:

Nápověda vývojového prostředí DetStudio

8. Seznam příloh:

1. Tabulka závislosti odporu na teplotě Ni1000
2. Tabulka závislosti odporu na teplotě Pt1000
3. Vybrané katalogové parametry regulačního ventilu od firmy LDM spol. s r.o.
4. Vybrané katalogové parametry servopohonu od firmy Siemens spol. s r.o..
5. Technologické schéma analyzované soustavy